radio und fernsehen

Zeitschrift für Radio · Fernsehen · Elektroakustik und Elektronik

Sonderheft: Weltraumnavigation und HF-Technik

PREIS DM 2,00
VERLAGSPOSTAMT LEIPZIG · 8. JAHRGANG
JULI 1959
13

VERLAG DIE WIRTSCHAFT BERLIN



AUS DEM INHALT

Nachrichten und Kurzberichte 394

T. Orhaug
Ionosphärenuntersuchungen mit Raketen und Satelliten 396

W. I. Krassowski
Erforschung der oberen Atmosphäre mit Hilfe des dritten sowjetischen Sputniks 398

S. Gejer und O. Rue
Radiobeobachtungen künstlicher Erdsatelliten 402

O. Rshiga und A. Schachowskoi
Ein Amateurempfänger zur Beobachtung der sowjetischen Erdsatelliten 407

Tabellen der künstlichen Erdsatelliten und Planeten 408

Dr. J. Taubenheim
Der Strahlungsgürtel um die Erde 410

Dr. K. H. Schmelovsky
Die Sonneneruptionseffekte in der tiefen Ionosphäre 412

Dipl.-Phys. Peter Glöde
Radarechos von Polarlichtern 415

Einige Gedanken zur interplanetarischen Navigation und Nachrichtenverbindung 418

Dipl.-Phys. Hans-Joachim Fischer
Reichweiten von Nachrichten- und Funkortungsverbindungen im interplanetarischen Raum 419

Heinz Lange
Nachrichtenverbindungen zwischen Raumschiff und Erde 421

Künstliche Marstrabanten? 423

Statt eines Vorwortes ... 424

OBSAH

Oznámení a stručné zprávy 394

T. Orhaug
Vyšetřování ionosféry raketami a satelity 396

W. I. Krassowski
Výzkum horní atmosféry pomocí třetího sovětského sputníku 398

S. Gejer a O. Rue
Radiové pozorování umělých zemských satelitů 402

O. Rshiga a A. Schachowskoi
Amatérský přijimač k pozorování sovětských satelitu 407

Tabulky umělých zemských satelitů a planet 408

Dr. J. Taubenheim
Pásmo záření okolo země 410

Dr. K. H. Schmelovsky
Sluneční erupce hluboké ionosféry 412

Dipl.-Phys. Peter Glöde
Radiolokační ozvěny severního záře 415

Některé myšlenky k meziplanetární navigaci a sdělovací spojení 418

Dipl.-Phys. Hans-Joachim Fischer
Dosah sdělovacích a radiolokačních spojení v meziplanetárním prostorn 419

Heinz Lange
Sdělovací spojení mezi zemí a meziplanetární lodí 421

Umělé sonputníky (trabanty) Marsu 423

Místo předmluvy ... 424

СОДЕРЖАНИЕ

Известия и краткие сообщения 394

Т. Орâуг
Исследование ионосферы с помощью ракет и искусственных спутников земли 396

В. И. Красовский
Исследование верхних слоев атмосферы с помощью третьего советского спутника Земли 398

С. Геер и О. Руе
Радионаблюдения за искусственными спутниками земли 402

О. Гжига и А. Шаховской
Радиолюбительский приемник для наблюдения за сигналами советских спутников Земли 407

Таблицы искусственных спутников Земли и планет 408

Д-р техн. наук Ё. Таубенгейм
Слой излучения вокруг земли 410

Д-р техн. наук К. Х. Шмеловский
Влияние солнечных вспышек на состояние нижних слоев ионосферы 412

Диплом-физик Петер Глёде
Отражение радиолокационных сигналов от полярного сияния 415

К вопросу о межпланетной навигации и радиосвязи 418

Диплом-физик Ганс-Иоахим Фишер
Дальность действия радиосвязи и радиолокации в межпланетном пространстве 419

Гейнц Ланге
Радиосвязь между космическим кораблем и Землей 421

Искусственные спутники Марса? 423

Вместо предисловия ... 424

Verlag DIE WIRTSCHAFT
Berlin NO 18, Am Friedrichshain 22
Telefon 530871, Fernschreiber 011448
Verlagsdirektor: Walter Franze

radio und fernsehen
Komm. Chefredakteur und
Verantw. Redakteur: Klaus K. Streng
Veröffentlicht unter ZLN 5227

Alleinige Anzeigenannahme: DEWAG-Werbung, Berlin C 2, Rosenthaler Straße 25-31, und alle DEWAG-Filialen in den Bezirksstädten. Gültige Preisliste Nr. 5

Druck: Tribüne Druckerei Leipzig III/18/36

Erscheint zweimal im Monat, Einzelheft 2,— DM

Bestellungen nehmen entgegen
Deutsche Demokratische Republik: Sämtliche Postämter, der örtliche Buchhandel und der Verlag DIE WIRTSCHAFT, Berlin
Deutsche Bundesrepublik: Sämtliche Postämter; der örtliche Buchhandel und der Verlag.
Auslieferung über HELIOS Literatur-Vertriebs-GmbH, Berlin-Borsigwalde, Eichborndamm 141—167

Ausland:
Volksrepublik Albanien: Ndermarrja Shtetnore Botimeve, Tirana
Volksrepublik Bulgarien: Direktion R. E. P., Sofia, 11 a, Rue Paris
Volksrepublik China: Guozi Shudian, Peking, 38, Suchou Hutung
Volksrepublik Polen: P. P. K. Ruch, Warszawa, Wilcza 46
Rumänische Volksrepublik: Directia Generala a Postei si Difuziarii Presei Poltut Administrativ C.F.R., Bukarest
Tschechoslowakische Volksrepublik: Orbis Zeitungsvertrieb, Praha XII, Stalinova 46 und Bratislava, Leningradska ul. 14
UdSSR: Die städtischen Abteilungen „Sojuspechatj“, Postämter und Bezirkspoststellen
Ungarische Volksrepublik: „Kultura“ Könyv és hirlap külkereskedelmit vállalat, P. O. B. 149, Budapest 62
Für alle anderen Länder: Verlag DIE WIRTSCHAFT, Berlin NO 18, Am Friedrichshain 22

CONTENTS

Informations and Reports 394

T. Orhaug
Investigation of the Ionosphere with the Help of Missiles and Satellites 396

W. I. Krassowski
Exploration of the Upper Atmosphere with the Help of the Third Soviet Sputnik 398

S. Gejer and O. Rue
Radio Observations of Artificial Earth Satellites 402

O. Rshiga and A. Schachowskoi
An Amateur Receiver for Observing the Soviet Earth Satellites 407

Tables of Artificial Earth Satellites and Planets 408

Dr. J. Taubenheim
The Radiation Zone around the Earth 410

Dr. K. H. Schmelovsky
The Sun Flare Effects in the Lower Ionosphere 412

Dipl.-Phys. Peter Glöde
Radar Echos from Aurora Borealis 415

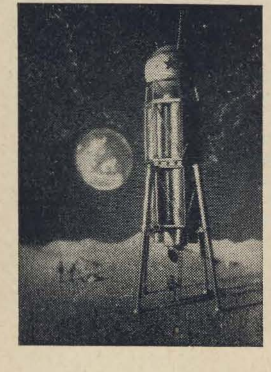
Some Considerations on the Cosmic Navigation and Communication 418

Dipl.-Phys. Hans-Joachim Fischer
Ranges of Signal Communications and Radar in Space 419

Heinz Lange
Communications between Space Ship and Earth 421

Mars Satellites Artificial? 423

In Place of a Preface 424

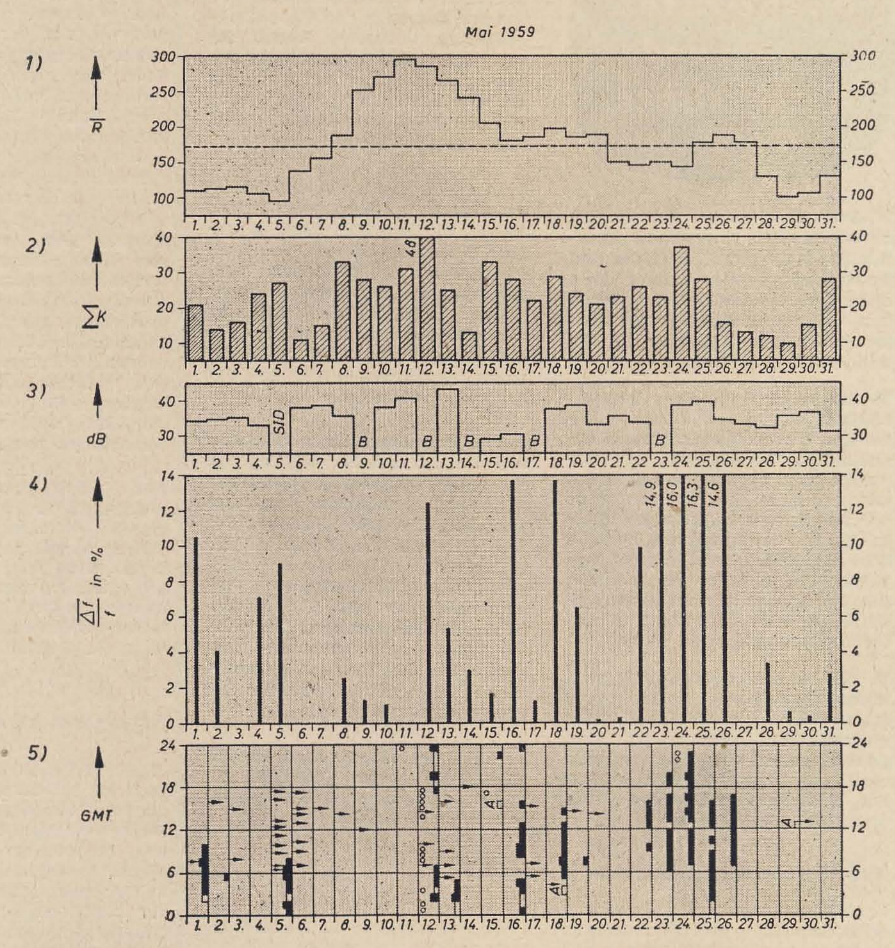


Titelbild:

Heute noch Utopie, in einigen Jahren Wirklichkeit: So ungefähr dürfte die erste gelandete bemannte Mondrakete aussehen
Foto: H. Blunck

Die KW-Ausbreitung im Mai 1959 und Vorschau für Juli 1959

Herausgegeben v. Heinrich-Hertz-Institut der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin



1) Sonnenfleckenrelativzahlen (Zürich)

2) Tagessumme der erdmagnetischen Kennziffern (Wingst)

3) Mittagsdämpfung auf 3,86 MHz,
SID = sudden ionospheric disturbance — plötzliche Ionosphärenstörung
B = erhöhte Dämpfung

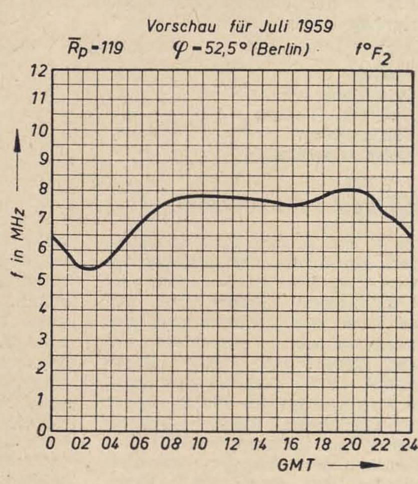
4) Tagesmittel des relativen Abfalls der F_2-Grenzfrequenzen (Juliusruh/Rügen)
$\Delta f = \tilde{f} - f_m$ für $\tilde{f} < f_m$ $\Delta f = 0$
$\tilde{f}$ = Monatsmedianwert der Grenzfrequenz
f_m = gemessene Grenzfrequenz

5) relativer Abfall der F_2-Grenzfrequenzen (Juliusruh/R.) bezogen auf den vorhergesagten Wert
▮ $\overline{\frac{\Delta f}{f}}$ = 18…29 %   ■ $\overline{\frac{\Delta f}{f}}$ = 40…49 %
■ = 30…39 %   ▬ = 50 % u. darüber

→ Mögel-Dellinger-Effekt bzw. Dämpfungseinbrüche (Neustrelitz/Juliusruh)

∘ plötzliche erdmagnetische Unruhe oder Schwankungsamplitude des Erdmagnetfeldes $A \geq 60\gamma$ bezogen auf eine Stunde

▯ Streuecho $\hat{▯}$ Abdeckung durch E-Schicht



Im nächsten Heft finden Sie unter anderem ...

- Die Ablenktechnik in TV-Empfängern mit 110°-Bildröhren
- Neues aus der sowjetischen Elektronik
- Koffersuper „Ilona“
- Eingangsstufen mit günstigstem Rauschfaktor
- Bauanleitung: Entzerrer für magnetische Tonabnehmer
- Das Fernsehen in Polen bis 1965



▼ **Seit über einem Jahr** kreist der sowjetische Erdtrabant „Sputnik III“ (1958 δ) um die Erde und hatte bereits vor einiger Zeit seine 5000. Runde beendet. Seine von Sonnenbatterien gespeisten Meßgeräte und sein Sender funktionieren immer noch.

▼ **Ein neuer Typ eines Bildverstärkers** wurde von der amerikanischen Firma Westinghouse angekündigt. Die eingetretene Lichtmenge wird derartig vervielfacht, daß auf dem am anderen Ende der Röhre sich befindenden Bildschirm ein bis zu 3000mal helleres Bild entsteht. Nach Angabe von Westinghouse wäre es möglich, mit vier dieser Röhren in Serienschaltung ein etwa 400 km entferntes Kerzenlicht zu sehen.

▼ **Das erste Fernsehspiel vom Video-Magnetband** wurde vom Südwestfunk übertragen. Der Südwestfunk erhält jetzt eine zweite Ampex-Maschine, um zum regulären Programmbetrieb mit der Video-Magnetband-Technik übergehen zu können.

▼ **Die nächste Radarverbindung mit dem Planeten Venus ist für** September dieses Jahres vorgesehen, wenn der Planet sich wiederum in Erdnähe befinden wird. Bei den letzten in den USA durchgeführten Versuchen besaß das von der Venus reflektierte Radarsignal, das von der Erde auf 440 MHz mit einer Spitzenleistung von 265 kW ausgestrahlt wurde, noch eine Stärke von 10^{-20} W.

▼ **An den Arbeiten des Internationalen Geophysikalischen Jahres,** die in Wirklichkeit 18 Monate dauerten und zum Teil noch darüber hinaus verlängert wurden, nahmen 30 000 Wissenschaftler und Techniker aus 66 Ländern teil. 4000 Hauptstationen wurden auf der gesamten Erdoberfläche, einschließlich der Arktis und der Antarktis, errichtet.

▼ **Die Aufnahme der Produktion von Raketenwaffen** wurde von der Telefunken GmbH zusammen mit der „Compagnie Française Thomson-Houston“ (Frankreich), den „Ateliers de Constructions Eléctriques de Charleroi“ (Belgien), der „Finmeccanica“ (Italien) und der „N. V. Philips“ (Holland) beschlossen. Zu diesem Zweck gründeten die fünf Konzerne die gemeinsame Gesellschaft „Société Européenne de Teleguidage (SETEL)“.

▼ **Das Fernsehsendernetz Frankreichs** soll, wenn fertiggestellt 72 Sender umfassen. Bisher sind 38 Sender in Betrieb.

Neue Fernseh-Kanal-Umsetzer in der DDR

Laut Mitteilung des Ministeriums für Post- und Fernmeldewesen, Bereich Rundfunk und Fernsehen, sind vier weitere Fernseh-Kanal-Umsetzer in der DDR in Betrieb genommen worden. Es handelt sich um folgende Umsetzer:

	Kanal	Polarisation der Sendeantenne
Plauen	5	vertikal
Bad Elster	5	horizontal
Oelsnitz (Vogtl.)	11	vertikal
Stalinstadt (versuchsweise)	9	horizontal

OSS-Konferenz in Berlin

Vom 4. bis 10. Juni fand in Berlin die 3. Konferenz der Minister des Post- und Fernmeldewesens der sozialistischen Länder statt, auf der über die Verbesserung der Zusammenarbeit besonders auf dem Gebiet der Funk-, Fernmelde- und Nachrichtentechnik beraten wurde. Zu Ehren dieser OSS-Konferenz (OSS = Organisation für Zusammenarbeit der sozialistischen Länder auf dem Gebiete des Post- und Fernmeldewesens) wurde am 3. Juni eine Ausstellung des Postmuseums in Berlin „Technik im Post-, Fernmelde- und Funkwesen“ eröffnet, die erstmalig einen zusammenfassenden Überblick über den Stand der Entwicklung von nachrichtentechnischen Einrichtungen in der Deutschen Demokratischen Republik gibt. Die Ausstellung wird bis zum 31. Juli 1959 geöffnet sein.
Besonders erwähnenswert ist eine Studiokamera, die in Zusammenarbeit von VEB Zeiss-Jena, dem Betriebslaboratorium für Rundfunk und Fernsehen und dem VEB Werk für Fernmeldewesen (Berlin) entwickelt und gefertigt wurde. Seit April arbeiten diese Kameras bereits im Studiobetrieb, sie können aber auch bei Sportübertragungen usw. eingesetzt werden.

Die Steuerung der sowjetischen Weltraumrakete

Wie bereits in „Nachrichten und Kurzberichte“ im Heft 7 (1959) erwähnt, wurde die sowjetische Weltraumrakete nach ihrem Abschuß automatisch gesteuert. Die Steuerung geschah einmal als Vergleich der Steuer- und Regelanlagen mit einer vorgegebenen Programmsteuerung, die in der Rakete ablief. Der Vergleich geschah in einem Rechengerät, das in der Rakete mitgeführt wurde.
Gleichzeitig aber wurde die Bahn der Rakete von 13 Beobachtungsstationen auf der Erde verfolgt, die ihre Ergebnisse einem Leitstrahlsender in der Nähe des Startplatzes der Rakete übermittelten. Dieser Leitstrahlsender, der mit einem hyperbolischen Spiegel von 27 m Durchmesser ausgerüstet war, beeinflußte einen Leitstrahlempfänger in der Rakete, der bei beobachteten Bahnabweichungen Korrektursignale an das Rechengerät weitergab. So wurden die Kursführungsanlagen – Graphit-Seitenruder an der Schubdüse der Rakete — entweder bei Abweichungen von der vorgegebenen Programmsteuerung oder bei von der Erde aus gemessenen Bahnabweichungen betätigt. Im Zusammenwirken beider Systeme wurde eine Kursgenauigkeit von $\pm 3°$ ermöglicht.
Ferner enthielten die Raketenstufen je drei flüssigkeitsgedämpfte Kreisel zur Kursstabilisierung und zur Eliminierung von Gravitationseinflüssen, weiterhin zwei Induktionsspulen zur Überwindung ungewünschter magnetischer Einflüsse, die zum Taumeln, Schlingern oder Rollen der Rakete hätten führen können. Alle elektronischen Geräte der Weltraumrakete waren volltransistorisiert und mit gedruckten Schaltungen aufgebaut.

Der amerikanische Erdsatellit „Vanguard II“ dient meteorologischen Zwecken (siehe auch die Tabelle S. 408 und 409 in diesem Heft). Seine Ausrüstung ist ähnlich einem Fernsehsender mit dem Zweck, ein Grobbild der Wolkendecke der Erde aufzunehmen, um so große Stürme, wie Hurrikane und Taifune, entdecken und verfolgen zu können. Er trägt zwei einander diametral entgegengesetzte lichtempfindliche optische Zellen, deren optische Achse mit der Rotationsachse des Erdsatelliten einen Winkel von 45° bildet. Die Rotationsachse des Satelliten liegt ihrerseits parallel zur Rotationsachse der Erde. Offensichtlich wird die Erdoberfläche entweder von der einen oder von der anderen Zelle (in den Polargegenden) oder von beiden Zellen (Äquatorialgegenden) „abgetastet“. Die „Zeilen“ entstehen dabei durch die Rotation des Satelliten um seine Achse und das Fortschreiten der Abtastung durch seine Umdrehung um die Erde. Die Signale werden auf einem Magnettonband aufgenommen, das abgeschaltet ist, wenn sich der Satellit im Erdschatten befindet. Das Band wird auf Abruf abgespielt, wenn sich der Satellit über einer Bodenstation befindet. Die Verstärker und der Sender, der über 1 W Leistung an die Antennen abgibt, bestehen teils aus Transistoren, teils noch aus Röhren. Sie werden von Quecksilberbatterien gespeist, von denen eine etwa dreiwöchige Betriebszeit erwartet wurde. Der „Tag-Nacht-Schalter“ besitzt als Spannungsquelle Sonnenbatterien.

Tagung der Arbeitsgemeinschaft Ionosphäre in Klein-Heubach

In Klein-Heubach am Main fand vom 19. bis 21. 5. 1959 die diesjährige Ionosphärentagung statt. Sie wurde von drei Vereinigungen, erstens der Arbeitsgemeinschaft Ionosphäre, zweitens der Fachgruppe Wellenausbreitung der NTG (Nachrichtentechnische Gesellschaft) und drittens dem URSI- (Union Radio Scientifique Internationale) Landesausschuß gemeinsam veranstaltet. Insgesamt wurden etwa 40 Vorträge gehalten, an denen die DDR mit neun Vorträgen beteiligt war.
So wurde z. B. mehrfach über interessante Ergebnisse der Satellitenforschung berichtet. Im Observatorium Kühlungsborn wurden dazu Messungen des Faraday-Fadings der sowjetischen Satelliten angestellt, die ergaben, daß die Ionisation der Atmosphäre wesentlich höher hinaufreicht, als man bisher annahm. Ähnliche Ergebnisse wurden mit der Beobachtung des gleichen Effektes bei Echos vom Mond mit Radioteleskopen in den USA erzielt.
Die Berichte über Untersuchungen von Sonneneruptionseffekten und ihren Auswirkungen auf die Wellenausbreitung nahmen ebenfalls großen Raum ein. Einige Vorträge behandelten dynamische Effekte in der Ionosphäre, wie z. B. Schwingungserscheinungen, die regionale Ausbreitung von Ionosphärenstörungen, Änderung des Elektronendichteprofils während eines Ionosphärensturmes, Driftmessungen und ähnliche Fragen. Weiter wurden noch Fragen des Erdmagnetfeldes und der kosmischen Ultrastrahlung behandelt.
Ein Vortrag berichtete über die solaren Ursachen von Erscheinungen in der Ionosphäre und die Zentimeter-Strahlung der Eruptionsgebiete.

RAFENA-Informationen für den Fernsehkundendienst

In den „Informationen Nr. 10“ werden diesmal dem Servicedienst hauptsächlich Beschreibungen des TV-Empfängers „Rekord“ gegeben. So werden die automatische Feinabstimmung, der Scharf-Weich-Zeichner, der ZF-Verstärker mit Bandfilterkopplung, und die Gegentaktendstufe mit getrennter Höhen- und Tiefenfrequenzregelung beschrieben. In gesonderten Beiträgen wird ausführlich auf das Prinzip und die Schaltungstechnik der automatischen Scharfabstimmung sowie auf die Verwendung der Bildröhre mit 110° Ablenkung und den sich damit ergebenden Änderungen bei der Ablenkeinheit, der Vertikal- und der Horizontalendstufe eingegangen.

Weitere Beiträge behandeln den ZF-Nachgleich beim „Favorit“ mit dem Wobbelnetzsender WG 1, unter Berücksichtigung der Verwendung der gedruckten Schaltungstechnik im Gerät „Favorit“ (Amplitudensieb und Sinusgenerator). Unter dem Titel „Schaltungsverbesserungen und Servicetechnik“ werden wieder spezielle Hinweise für den Reparaturdienst gegeben.

Abschließend sei noch erwähnt, daß im Heft Nr. 10, das diesmal 32 Seiten umfaßt, ein Bericht über die Messe in Amsterdam 1958 und eine Beschreibung der Frequenzumsetzer enthalten sind. In Form einer Bauanleitung ist dem Heft ein Hinweis über den Einbau des UKW-Teils FE 855.2030, das in diesem Jahr im Rahmen der Massenbedarfsgüterfertigung ausgeliefert wird, gesondert beigelegt.

radio und fernsehen

ZEITSCHRIFT FÜR RADIO · FERNSEHEN · ELEKTROAKUSTIK · ELEKTRONIK

8. JAHRGANG · 1. JULIHEFT **13** 1959

Die Menschheit wird nicht ewig auf der Erde bleiben, sondern auf der Jagd nach Licht und Raum erst zaghaft über die Grenzen der Erdatmosphäre vorstoßen und dann den gesamten Raum in der Umgebung der Sonne erobern

KONSTANTIN EDUARDOWITSCH ZIOLKOWSKI (1857–1935)

T. ORHAUG

Ionosphärenuntersuchungen mit Raketen und Satelliten

Unsere Kenntnisse über die Ionosphäre — den oberen Teil der Atmosphäre von etwa 60 km an — haben wir durch indirektes Messen erhalten. Diese Methoden bestehen unter anderen im Beobachten und Untersuchen der Ausbreitung von Radiowellen, Radarbeobachtungen von Meteoren, Messung des Nachthimmellichts, optischen Messungen und Radarmessungen des Nordlichts usw.

Die klassische Meßmethode (nach Breit und Tuve) besteht darin, daß ein Sender ein impulsmoduliertes Signal im Frequenzgebiet von 1···20 MHz aussendet. Dieses Signal wird von einer der Ionosphärenschichten reflektiert, und ein Empfänger mißt dann den Zeitunterschied zwischen dem ausgesandten Signal und dem empfangenen Echo. Das Vorhandensein freier Elektronen in der Ionosphäre, in der die Luftmoleküle von der ultravioletten Strahlung der Sonne ionisiert werden, vergrößert die Wellenlänge im Vergleich zur Vakuumwellenlänge und das ionisierte Gas bekommt einen Brechungsindex, der kleiner als Eins ist. Dabei vermag die Ionosphäre unter besonderen Umständen eine einfallende Radiowelle total zu reflektieren. Es besteht ein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Dichte der freien Elektronen N (Elektronen je cm^3) und der Frequenz f (MHz), die dieses Medium total zu reflektieren vermag, nämlich

$$f = 9 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{N}. \qquad (1)$$

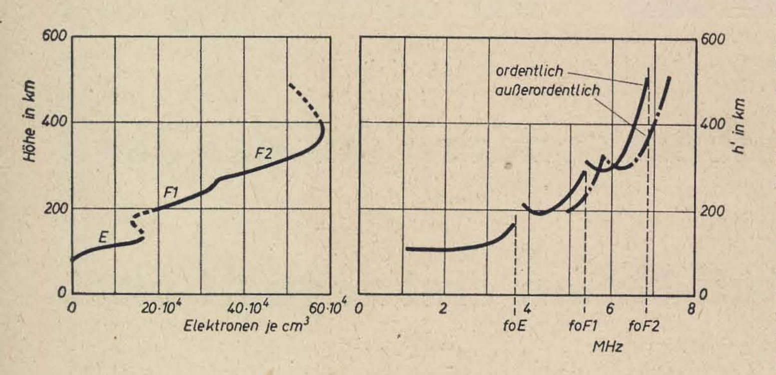


Bild 1: Durch panoramische Ionosphärenregistrierungen kann die Verteilung der freien Elektronen als Funktion der Höhe über der Erdoberfläche indirekt bestimmt werden, rechts die scheinbare Reflexionshöhe h' als Funktion der Frequenz der reflektierten Welle, links die entsprechende Verteilung der freien Elektronen als Funktion der wirklichen Höhe

Es sind theoretische Möglichkeiten dafür vorhanden, die Schwankung der Elektronendichte zu messen.

Nimmt man an, daß die Radiowellen sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten, so kann aus der gemessenen Zeitdifferenz die scheinbare Reflexionshöhe (virtuelle Höhe h') direkt berechnet werden. Diese Höhe ist, weil der Brechungsindex in einem Teil der Bahn kleiner als Eins ist, nicht gleich der wirklichen Reflexionshöhe. Variiert man die Meßfrequenz innerhalb des Gebiets von 1···20 MHz, so erhält man eine Registrierung (die h'f-Registrierung, Bild 1). Eine Radiowelle mit einer solchen Frequenz breitet sich lange in einem Gebiet mit kleinem Brechungsindex aus. Die Welle verzögert sich dabei und dies erklärt die Form der h'f-Registrierungen beim Übergang von der Reflexion aus einer Ionosphärenschicht zu einer höheren. Das Magnetfeld der Erde macht die Ionosphäre doppelbrechend, und dies ist die Ursache dafür, daß eine ausgesandte Radiowelle in zwei reflektierte Komponenten mit verschiedener Laufzeit (die ordentlichen und die außerordentlichen Komponenten) aufgespalten wird.

Man kann nur mit sehr groben Annahmen von der gemessenen h'f-Registrierung zu einer N(h)-Verteilung zurückrechnen. Die einzig sicheren Informationen, die die Registrierungen ergeben, sind die Elektronendichten für die Maxima der Schichten. Die maximalen Elektronendichten erhält man direkt mit Hilfe der Gl. (1) aus den sogenannten kritischen Frequenzen f_0E, f_0F1, f_0F2. Die Frage nach der Höhenverteilung der Elektronendichte ist vorläufig eins der großen ungelösten Probleme der Ionosphärenphysik.

Die Meßmethode, die hier skizziert wurde, ergibt natürlich nur eine Information über den Teil der Ionosphäre, der niedriger als die Höhe einer maximalen Elektronendichte in der F2-Schicht liegt. Unter besonderen Umständen mit niedriger kritischer Frequenz für die F2-Schicht (Ionosphärenstürme) kann man manchmal ein Echo von einer Schicht erhalten, die höher als die F2-Schicht liegt. Die G-Schicht, wie man diese Schicht nennt, liegt in einer Höhe von 500···600 km und hat also eine niedrigere Elektronendichte als die normale F2-Schicht.

Im Laufe der letzten Jahre haben auch Beobachtungen von „Whistlers" eine verhältnismäßig große Elektronendichte in Höhen gezeigt. Nach der Entdeckung von Radioquellen im Weltraum bestanden Möglichkeiten, Messungen der Gebiete in der Ionosphäre oberhalb der F2-Schicht durchzuführen. Die Einwirkung der Ionosphäre auf diese Radiostrahlung ist jedoch ein aus mehreren Wirkungen zusammengesetzter Effekt und dies erschwert die Deutung der Ergebnisse.

Auch wenn man etwa das Verhalten der Ionosphäre unter ungestörten Verhältnissen und die langwelligen Schwankungen kennt, bestehen viele Fragen über die gestörten ionosphärischen und erdmagnetischen Verhältnisse sowie die kurzandauernden Schwankungen, die weiterhin ungelöst sind. Diese Fragen besitzen eine sehr große Bedeutung für die Vorhersage der Radioverbindung auf große Entfernungen. Hier soll nur die Theorie von „Strömer" über einen ringförmigen Strom in der Äquatorialebene der Erde in einem Abstand von 20000···30000 km von der Erdoberfläche entfernt angeführt werden. Dieser Stromring, der während starker Sonnenausbrüche entstehen soll, kann weltumfassende magnetische und Ionosphärenstürme hervorrufen.

Die Fragen bezüglich der Turbulenz der Ionosphäre und der Unregelmäßigkeiten der Elektronendichte erlangen immer größere Bedeutung, da die ionosphärische Streuung von Radiowellen im Laufe der letzten Jahre eine wertvolle Ergänzung der Übertragung auf große Entfernung innerhalb des Kurzwellengebiets geworden ist. Die Turbulenzverhältnisse kann man unter anderen mit Hilfe von Feinstrukturuntersuchungen der an der Ionosphäre reflektierten Radiowellen und des von der Ionosphäre übermittelten Rauschens aus den Radiosternen erforschen.

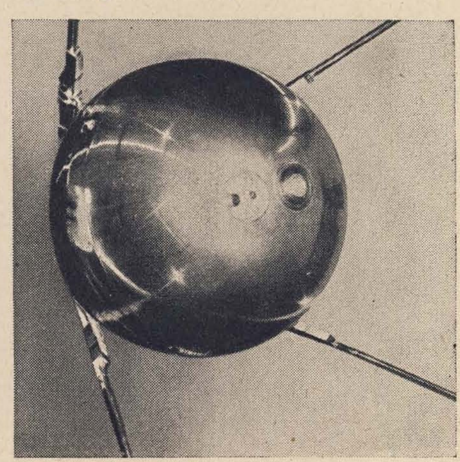
Messungen mit Hilfe von Raketen

Im Jahre 1945 begann man in den USA, das Starten von deutschen V2-Raketen für Forschungszwecke in Verbindung mit der Raketentechnik und der Ballistik zu planen. Von 1946 bis 1950 wurden 50 V2-Raketen gestartet. Mehrere von ihnen enthielten unter anderen Apparaturen zur Messung des Luftdrucks, Spektrografen zur Untersuchung der ultravioletten Sonnenstrahlung, Sender für Ionosphärenstudien, Apparaturen für Luftprüfungen, Kameras für das Fotografieren der Erde, Apparaturen zur Messung der kosmischen Strahlung, Magnetometer zur Messung des Erdmagnetfeldes sowie eine Fernmeßausrüstung zur Übermittlung der gemessenen Werte.

Folgendes Experiment informiert über die N(h)-Verteilung: Ein Signal mit verhältnismäßig niedriger Frequenz und sein sechster Oberton werden gleichzeitig von der Rakete übermittelt (4,274 MHz und 25,644 MHz). Das Signal mit der höheren Frequenz wird von der Ionosphäre praktisch nicht beeinflußt. Die gewöhnliche und die außergewöhnliche Komponente des 4,274-MHz-Signals werden auf zwei gekreuzten Antennen empfangen und diese Komponenten werden mit dem Faktor „6" frequenzmultipliziert und mit dem 25,644-MHz-Signal gemischt. Als Ergebnis entstehen dann zwei Schwebungskomponenten, die von der Raketengeschwindigkeit und dem Brechungsindex der Ionosphäre abhängig sind. Man hofft, daß solche Messungen Aufklärung über den unteren Teil der Ionosphäre (die D- und E-Schicht) geben können.

Eine andere Methode zur Untersuchung der Elektronendichte der Ionosphäre besteht darin, daß man vom Erdboden zwei Impulssignale aussendet. Die Frequenz des einen Signals liegt in der Nähe von f_0E, während die andere Frequenz viel größer als f_0E ist (z. B. 4 MHz und 500 MHz). Das 4-MHz-Signal wird wegen der Elektronendichte erheblich verzögert, während das andere Signal nicht beeinflußt wird. Wenn diese beiden Signale bei der Rakete ankommen, schicken sie auf sehr hohen Frequenzen Antwortimpulse mit einer Mitteilung über den Zeitunterschied (Bild 2).

Der erste sowjetische Sputnik, der am 4. Oktober 1957 gestartet wurde



Von der Übertragung über große Entfernungen auf Kurzwelle weiß man nicht, welcher Ausbreitungsmodus entscheidend ist. Um den Sachverhalt über eine 3200 km lange Übertragungsstrecke zu untersuchen, hat man folgendes Experiment durchgeführt:

Ein impulsmoduliertes Signal mit der Frequenz von 13,5 MHz wurde von einer Bodenstation A ausgesandt. Dieses Signal wurde sowohl von der Rakete als auch von einer Bodenstation B in der Nähe des Abschußplatzes empfangen. Ein UKW-Sender übertrug dann das empfangene 13,5-MHz-Signal von der Rakete zur Station B. Mit Hilfe von Angaben über den Abstand der Rakete

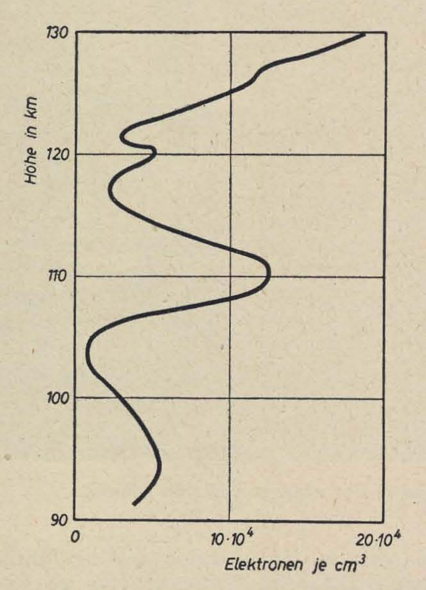


Bild 2: Die Verteilung der Anzahl freier Elektronen als Funktion der Höhe über der Erdoberfläche (Ermittlung durch Radiowellen einer Rakete)

von der Station B können der Laufzeitunterschied zwischen dem direkt übertragenen Signal zwischen A und B und dem in der Rakete empfangenen Signal berechnet werden, und auf dieser Grundlage auch die Übertragungsverhältnisse.

Messungen des Luftdrucks und der Luftdichte können mit direkten Methoden durchgeführt werden, und aus ihnen kann dann die Temperatur als Funktion der Höhe berechnet werden.

Der größte Nachteil bei den Messungen mit der Raketenmethode besteht darin, daß sich die Rakete nur einige Minuten in den Höhen der Atmosphäre befindet, die das größte Interesse beanspruchen. Zur Erforschung der F2-Schicht ist dieser Nachteil sehr schwerwiegend, da verhältnismäßig schnelle Schwankungen der Sonneneffekte wie z. B. die Röntgenstrahlung, die kosmische Strahlung, die Partikelintensität usw. in Verbindung mit der oberen Ionosphärenphysik interessante Probleme sind.

Messungen mit Hilfe von Satelliten

Die Verwendung von Satelliten (Bild 3) für die Ionosphärenforschung besitzt mehrere Vorteile gegenüber der Raketentechnik. Der größte Vorteil besteht dabei darin, daß die Messung während einer längeren Dauer vorgenommen werden kann.

Satelliten können außerdem für die Bestimmung von Druckverhältnissen der oberen Atmosphäre benutzt werden. Raketenexperimente haben bei Höhen von weniger als 100 km sichere Werte ergeben, unsichere Werte bei Höhen zwischen 100 und 200 km und fast keine Werte oberhalb von 200 km. In diesen Höhen gibt es nur indirekte Messungen und der Druck wird auf der Grundlage angenommener Werte der Temperatur und des Molekulargewichts berechnet. Durch Beobachtungen der Satellitenbahn und seiner Umlaufzeit kann man Werte für die Luftdichte aus der Höhe erhalten, in der sich der Satellit befindet. Man kann nachweisen, daß die relative Änderung der Umlaufsdauer

$$\frac{\Delta T}{T} = \frac{6 \pi \, r A \varrho}{M} \text{ ist.} \qquad (2)$$

Hierin bedeuten: T die Umlaufsdauer, r der Bahnradius, A die Projektionsfläche des Satelliten in einer Ebene senkrecht zur Geschwindigkeit, ϱ die Luftdichte und M die Masse des Satelliten. Bei der Bestimmung der Umlaufsdauer ist jedoch eine große Genauigkeit erforderlich, da $\Delta T/T$ nur von der Größenordnung 10^{-4} ist.

Wegen der Bewegung des Satelliten in bezug auf einen Radioempfänger auf der Erdoberfläche wird ein vom Satelliten ausgesandtes und auf der Erdoberfläche empfangenes Signal in der Frequenz verschoben sein (Dopplereffekt). Die Differenz zwischen diesen Frequenzen wird unter anderen von der veränderten Phasengeschwindigkeit verursacht; sie hängt deshalb von der Elektronendichteverteilung, der Geschwindigkeit des Satelliten und der Arbeitsfrequenz ab. Diese Meßmethode kann Aufschluß über die Elektronendichte in der Nähe des Satelliten ergeben, erfordert jedoch eine sehr genaue Kenntnis der Satellitenbahn und der Geschwindigkeit.

Hartmann und Haviland haben ein interessantes Experiment erörtert. Die Signale eines Satellitensenders mit Arbeitsfrequenzen von etwa 28 MHz werden in einigen Meßstationen gemessen. Außerdem werden auch die Beobachtungen und Messungen der Radioamateure über angenäherte Signalstärken benutzt. Dieses Experiment, das eine sehr große Teilnehmerzahl erfordert, dürfte ebenfalls Auskünfte über Ionosphäreneffekte oberhalb der F2-Schicht ergeben.

Messungen des Satellitenechos innerhalb des UKW-Gebietes haben ungewöhnlich hohe Änderungen der Signalstärke ergeben, was evtl. seine Erklärung in der höheren Ionosphäre findet.

Wird die Rotation in der Polarisationsebene eines von einem Satelliten gesandten Signals in verschiedenen Satellitenhöhen gemessen, kann man eine Information über die Elektronendichte erhalten. Dabei entspricht der Rotationswinkel Θ der Polarisationsebene folgender Gleichung:

$$\Theta \triangleq \frac{H}{f^2} \cdot \cos \Phi \cdot \int N \cdot ds, \qquad (3)$$

wobei H die erdmagnetische Feldstärke, f die Arbeitsfrequenz, Φ der Winkel zwischen Ausbreitungsrichtung und dem erdmagnetischen Feld, N die Elektronendichte und ds das Bahnelement sind. Zur Messung von Θ benutzt man zwei zirkularpolarisierte Antennen.

Pfister hat mögliche Versuche beschrieben, um die Turbulenzverhältnisse der Ionosphäre zu untersuchen. Man kann entweder die kleinen Verzögerungschwankungen eines 20-MHz-Signals, verglichen mit einer sehr viel höheren Frequenz oder das Fading des empfangenen 20-MHz-Signals messen. Die Benutzung von Satelliten in verschiedenen Höhen kann die Höhenabhängigkeit der Turbulenz ergeben.

Von den Messungen, die an den sowjetischen Satelliten durchgeführt wurden, ist einiges veröffentlicht worden. Angaben über die Ionosphärenuntersuchungen sind jedoch nur spärlich, da die Bearbeitung immer einige Zeit erfordert. Aus den Feldstärkeregistrierungen geht hervor, daß die Fadings der Signale oft recht kompliziert sind, wobei mehrere Fadingperioden überlagert sind. Die langsamen Fadings sind wahrscheinlich vom Spin des Satelliten und vom Faradayeffekt abhängig. Die Antenne des Satellitensenders kann nicht isotropisch gemacht werden, und deshalb ist die Signalstärke von der Orientierung des Satelliten in bezug auf die Empfangsantenne abhängig. Nach Gl. (3) ist die Rotation der Polarisationsebene proportional λ^2, wobei λ die Wellenlänge ist. Die Fadingfrequenzen sind deshalb bei beiden Frequenzen 20 und 40 MHz, auf denen die Satellitensender arbeiten, verschieden. Bei Feldstärkemessungen auf den beiden Frequenzen ist es also möglich, die verschiedenen Fadingeffekte zu unterscheiden. Vorläufige Berechnungen von $\int N \cdot ds$, d. h. der totalen Elektronenanzahl wurden mit Hilfe solcher Messungen vom Cambridgeobservatorium veröffentlicht.

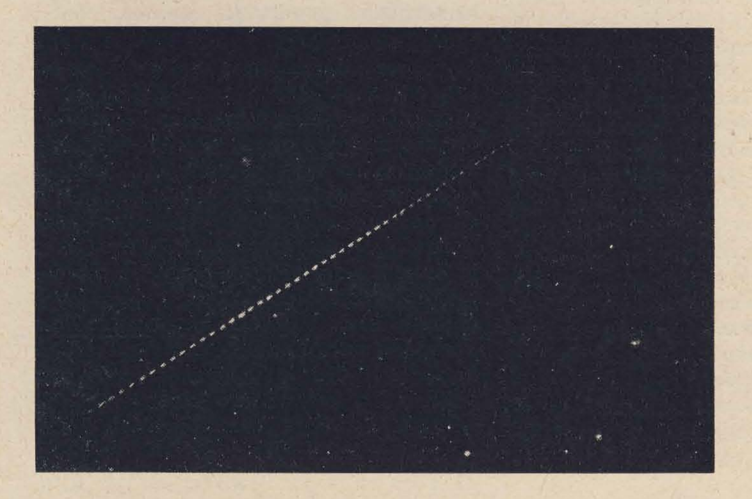


Bild 3: Der sowjetische Satellit Sputnik 1 im Observatorium von Lund am 13. 10. 1957 fotografiert. Die Kamera wurde mit einer rotierenden Sektorblende (Expositionszeit 1/4 s) versehen

Nachdem die Raketenexperimente begonnen hatten, bestand eine fast vollständige Übereinstimmung zwischen den Informationen über die Physik der oberen Atmosphäre aus den Raketendaten bis zu etwa 100 km und den Informationen mit Hilfe indirekter Methoden. Als sich die Meßhöhe vergrößerte, verminderte sich die Übereinstimmung und die Raketenexperimente hatten in vielen Punkten unsere Vorstellungen über die Verhältnisse in der oberen Atmosphäre teilweise verändert. Es besteht die begründete Vermutung, daß die Anwendung von Satelliten und Raketen in den nächsten Jahren wesentlich zu unserer Kenntnis der Ionosphäre und der physikalischen Verhältnisse in der oberen Atmosphäre beitragen wird.

Gekürzter Beitrag aus der schwedischen Zeitschrift „Teknisk Tidskrift" Stockholm 88, 10 (1958) S. 205···208.

Literatur

[1] Boyd, RLF & M. J. Seaton: Rocket exploration of the upper atmosphere, Pergamon Press, London 1954

[2] J. A. van Allen: Scientific uses of earth satellites, Chapman & Hall, London 1956

[3] Radio observations of the Russian satellite, Nature (1957), S. 879

W. I. KRASSOWSKI

Erforschung der oberen Atmosphäre mit Hilfe des dritten sowjetischen Sputniks

Aus einem Bericht, der dem 9. Kongreß der Internationalen Astronautischen Vereinigung im August 1958 in Amsterdam vorgelegt wurde.

Einleitung

Die Leistungen der Sowjetunion in der Raketenforschung haben die Basis für wichtige neue Erforschungsmöglichkeiten der oberen Atmosphäre geschaffen. Sowjetische Ingenieure und Wissenschaftler begannen mit der Konstruktion gigantischer künstlicher Erdsatelliten. Geophysiker, die sich mit der Untersuchung der oberen Atmosphäre beschäftigen, erhielten dadurch Gelegenheit, in den Satelliten Meßgeräte einzubauen, mit deren Hilfe verschiedene Eigenschaften der oberen Atmosphäre und deren Beeinflussung durch Kräfte außerhalb der Erde untersucht werden können, wie z. B. harte elektromagnetische und korpuskulare Emission von der Sonne, interplanetarischer Staub und gasförmiges Medium und damit verknüpfte Magnetfelder sowie kosmische Strahlen und andere Strahlungen aus dem Weltraum, welche die Erdoberfläche nicht erreichen. Bis dahin hatten die sowjetischen Geophysiker die Untersuchung der oberen Atmosphäre mit Hilfe von Raketen durchgeführt.

Die Konstruktion des ersten sowjetischen Erdsatelliten ist der Ausgangspunkt einer neuen Epoche, in der die vollkommene Erforschung der Geheimnisse der oberen Atmosphäre und des interplanetarischen Raumes in Angriff genommen wird und kontinuierlich arbeitende Laboratorien oberhalb der dichten Schichten der Erdatmosphäre geschaffen werden. Jeder Sputnik bereicherte unsere Kenntnis von der oberen Atmosphäre und vom kosmischen Raum. Jeder neue Erfolg eines Sputniks ging über den seines Vorgängers hinaus. Mit den ersten drei sowjetischen Erdsatelliten wurden umfangreiche und wertvolle Ergebnisse erhalten. Neue Meßeinrichtungen wurden geschaffen und Sonnenbatterien erprobt. Diese werden es in Zukunft ermöglichen, ein Sputniklaboratorium mit sehr langer Lebensdauer einzurichten. Die Probleme, die mit dem Temperaturzustand innerhalb und außerhalb des Sputniks zusammenhängen und andere Fragen wurden mit Hilfe der ersten künstlichen Sputniki gelöst.

Der Zweck der vorliegenden Arbeit ist, die kürzlich in der Sowjetunion mit Hilfe des dritten Erdsatelliten durchgeführte geophysikalische Untersuchung zu beschreiben. Das Programm und die Ausstattung mit Geräten für die Forschung wurden durch eine große Gruppe von Wissenschaftlern und Ingenieuren ausgearbeitet. An der Konstruktion der Sputniki war eine große Zahl von sowjetischen Forschern, Ingenieuren und Mitarbeitern verschiedener Institute, Konstruktionsbüros und industrieller Unternehmungen beteiligt. Alles dies wurde erreicht durch den hohen Stand der sowjetischen Wissenschaft und Industrie.

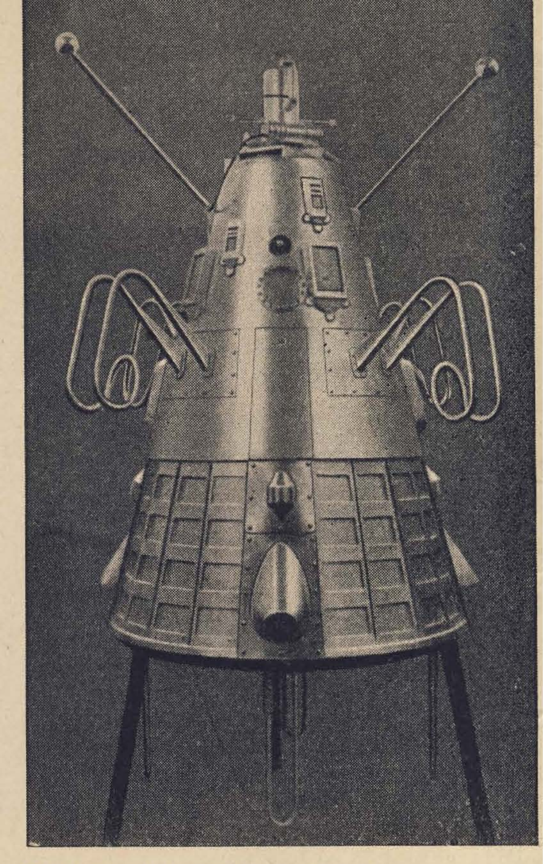


Bild 1: Der dritte sowjetische Sputnik

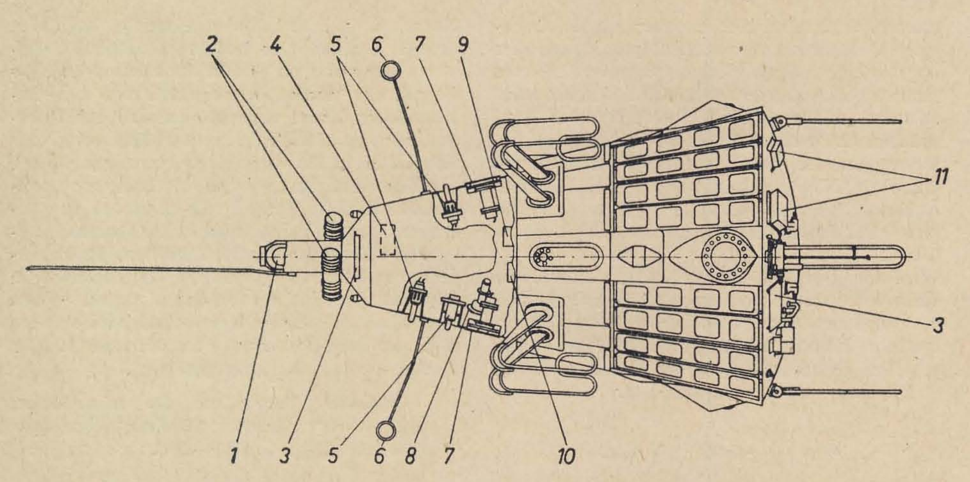


Bild 2: Wissenschaftliche Ausstattung des dritten Sputniks

(1) Magnetometer, (2) Fotovervielfacher zur Registrierung korpuskularer Sonnenstrahlung, (3) Sonnenbatterien, (4) Meßgerät zur Registrierung von Photonen in kosmischen Strahlen, (5) Magnetische und Ionisations-Manometer zur Messung des Drucks in der oberen Atmosphäre, (6) Ionenfallen, (7) Elektrostatische Flußmesser zur Messung elektrischer Ladungen und der Stärke elektrostatischer Felder, (8) Massenspektrometer-Röhre zur Bestimmung der Zusammensetzung von Ionen in großen Höhen, (9) Gerät zur Bestimmung schwerer Kerne in kosmischen Strahlen, (10) Gerät zur Messung der Intensität primärer kosmischer Strahlung, (11) Einrichtungen zur Registrierung von Mikrometeoren. Elektronische Einrichtungen der wissenschaftlichen Ausrüstung, Funkmeß- und Funkfernmeßsysteme, Zeitfolge-Einrichtung, Einrichtungen zur Temperaturregulierung und Temperaturmessung und elektrochemische Batterien befinden sich im Innern des Sputnikkörpers und sind im Bild nicht eingezeichnet

Der dritte sowjetische Sputnik

Der dritte sowjetische Erdsatellit ist das erste Laboratorium für die Erforschung verschiedener Eigenschaften der oberen Atmosphäre. Bild 1 zeigt den Sputnik 3, Bild 2 beschreibt die in ihm untergebrachten Meßgeräte.

Bis jetzt wurde mit Hilfe dieses Erdsatelliten ein umfangreiches Beobachtungsmaterial gesammelt. Die Meßergebnisse befinden sich noch in der Auswertung, und es wird noch viel Zeit vergehen, bis die Arbeiten abgeschlossen sind, von denen uns zur Zeit nur eine vorläufige Information zur Verfügung steht. In unserem Bericht sollen sowohl die Meßgeräte als auch die mit ihrer Hilfe gelösten Probleme und auch die erhaltenen Ergebnisse beschrieben werden.

Bahnverzögerung des Erdsatelliten

Vor dem Start des ersten sowjetischen Erdsatelliten wurde erwartet, daß sich das sogenannten „Raketenmodell“ bestätigen würde. Aber die Dichtewerte von nahezu $3 \cdot 10^{-13}$ g $\cdot$ cm^{-3}, die in der Höhe von 220 km mit Hilfe der ersten sowjetischen Sputniki aus deren Bahnverzöge-

rungen erhalten wurden, riefen eine wesentliche Änderung in der Auffassung hervor, die man von der Dichte, der Temperatur und den dynamischen Verhältnissen in der oberen Atmosphäre bisher hatte. Die Bahnverzögerung der Sputniki könnte darauf hinweisen, daß in einer Höhe von 220 km die Dichte während des Tages größer ist als während der Nacht, und daß sie in den Polarbreiten größer ist als in den Äquatorialbreiten. Früher war man der Ansicht, daß die obere Atmosphäre thermischen täglichen Änderungen und halbtäglichen Änderungen durch Gezeiten unterworfen ist, und man glaubte, daß die zweite Erscheinung die wesentlichere sei. Die durch die Sputniki erhaltene Information läßt die Annahme zu, daß zur Zeit nur ein täglicher Änderungsrhythmus existiert. Es ist sehr schwer, die Meinung zu vertreten, daß der Hauptbestandteil der Atmosphäre in 200 km Höhe Wasserstoff ist, und man kann die große Höhe der oberen Atmosphäre nicht durch ein kleines Molekulargewicht erklären. Die beobachtete kleine Bahnverzögerung der Sputniki kann man bisher nur dadurch erklären, daß die Temperatur der oberen Atmosphäre höher ist, als man in den Raketenmodellen vermutet hatte. Die Beobachtungen der Bahnverzögerung der künstlichen Sputniki bestätigen das frühere Modell einer heißen und dichten oberen Atmosphäre.

Manometer

Die neue Information über die obere Atmosphäre, die aus den Daten der Bahnverzögerung des ersten Sputniks erhalten wurde, machte eine Klärung der oben erwähnten Frage nach den Quellen für die Erwärmung der oberen Atmosphäre noch dringender, da die Temperaturzunahme in 200 km Höhe eine Vergrößerung des Temperaturgradienten nach sich zieht und folglich eine Vergrößerung des Wärmeflusses von den oberen Schichten der Atmosphäre nach unten. Somit war es von besonderem Interesse, nach einer Methode zu suchen, mit der man die Dichte der oberen Atmosphäre mit irgendwelchen anderen Mitteln bestimmen könnte. Zu diesem Zweck wurde der dritte Sputnik mit Ionisationsmanometern und magnetischen Manometern ausgerüstet. Eine Bestimmung der Dichte der oberen Atmosphäre mit Manometern ist von Wichtigkeit nicht nur für einen Vergleich der manometrischen Daten mit den aus der Bahnverzögerung des Sputniks berechneten Daten, sondern auch als Möglichkeit zur Klärung einiger unbestimmter Ergebnisse, die bei der früheren Bestimmung der oberen Atmosphäre in 200 km Höhe mit Hilfe der Manometer in den Raketen erhalten wurden. Die Hauptschwierigkeit bei der Verarbeitung der mit Ionisationsmanometern erhaltenen Daten liegt darin, eine absolute Eichung dieser Manometer zu gewinnen, denn die Laboratoriumsbedingungen entsprechen nicht denen, die in Höhen über 100 km vorhanden sind. Die atmosphärischen Gase existieren in diesen Höhen meist in dissoziiertem atomaren Zustand. Davon abgesehen ist die relative Zusammensetzung der oberen Atmosphäre nicht bekannt. Dadurch, daß dissoziierte atomare Gase in ein Manometer gelangen, können Moleküle wie z. B. Stickstoffoxyd entstehen, die in den Bodenschichten der Atmosphäre fehlen. Der Vergleich der manometrischen Daten mit den aus der Bahnverzögerung des Sputniks erhaltenen Daten kann zu einer genaueren Eichung von Ionisationsmanometern führen. Es wird nicht angenommen, daß die absolute und relative Zusammensetzung der Atmosphäre bei kleinen Höhenänderungen irgendeiner wesentlichen Änderung unterliegt.

Mit Ionisationsmanometern kann man die Skalenhöhen in verschiedenen Schichten der oberen Atmosphäre bestimmen, was sonst durch Beobachtung der Bahnverzögerung des Sputniks nur schwer möglich ist. Manometrische Untersuchungen durch den Sputnik sind auch von Wert bei der Bestimmung des Grades der Verschmutzung der Manometervolumen durch Gas, das aus dem Sputnikkörper ausströmt. Weil sich der Sputnik in der oberen Atmosphäre eine weit längere Zeit aufhält als eine Rakete, wird es möglich, die Geschwindigkeit einer solchen Gasausströmung zu bestimmen und auch den Augenblick zu erkennen, in dem die Verschmutzung die Manometerablesungen nicht mehr beeinflußt, d. h. diese die tatsächlichen Eigenschaften der oberen Atmosphäre wiederspiegeln.

Durch den dritten Sputnik wurden wertvolle Informationen über die Dichte der Atmosphäre innerhalb der Manometer erhalten. Dadurch ist auch ein Schluß auf die Dichte der Atmosphäre außerhalb möglich. Es kann als bewiesen angesehen werden, daß das Ausströmen von Gasen aus der Oberfläche des Sputniks nach einigen Umläufen um die Erde unbedeutend wird, da dann die manometrischen Angaben mit den Angaben übereinzustimmen scheinen, die man aus der Beobachtung der Bahnverzögerung des Sputniks geschlossen hat. Durch die Manometer am dritten künstlichen Erdsatelliten wurde eine Information über die atmosphärische Dichte erhalten: In einer Höhe von 260 km ist die Dichte 10^{-13} $g \cdot cm^{-3}$ und in einer Höhe von 355 km beträgt sie $9 \cdot 10^{-15} g \cdot cm^{-3}$.

Massenspektrometer

Der dritte sowjetische Sputnik war mit einem Benetschen Massenspektrometer ausgerüstet, um die Natur der Ionen in der Atmosphäre mit einer Massenzahl von 6···50 zu bestimmen. Vor dem Einbau in den Sputnik wurde dieses Meßgerät in Raketen erprobt. In einer Höhe von 250 km sind die Hauptbestandteile Ionen von Stickstoffoxyd. Das bedeutet jedoch nicht, daß diese Ionen das Ergebnis einer Ionisierung neutraler Stickstoffoxyd-Moleküle sind. Wie eine Reihe von theoretischen Betrachtungen und von Laboratoriumsuntersuchungen zeigen, entstehen die ionisierten Stickstoffoxyd-Moleküle durch eine Reaktion von Sauerstoff-Ionen mit neutralen Stickstoff-Molekülen oder durch eine Reaktion von Sauerstoff-Atomen mit ionisierten Stickstoff-Molekülen. Die Feststellung von Stickstoffoxyd-Ionen deutete auf die Existenz von Stickstoff-Molekülen in Höhen bis zu 250 km. Wie die Meßergebnisse durch den dritten Sputnik jedoch zeigen, sind atomare Ionen von Sauerstoff und Stickstoff die Hauptbestandteile überhalb 250 km, wobei die Ionen von atomarem Sauerstoff vorherrschen. Dieses Ergebnis beweist, daß die obere Atmosphäre in 250 km Höhe und darüber hauptsächlich von atomarer Zusammensetzung ist.

Das Überwiegen von Sauerstoff-Ionen gegenüber Stickstoff-Ionen deutet darauf hin, daß das Sauerstoff-Atom leichter ionisiert wird. Durch diesen Umstand wird die Zahl der infrage kommenden Ionisierungsquellen für die obere Atmosphäre eingeschränkt.

Ionenfallen

Zum Zweck einer Weiterführung der Erforschung der Ionisationsverteilung mit der Höhe wurde der dritte sowjetische Sputnik mit einem Meßgerät zur direkten Messung der Konzentration geladener Teilchen in der Ionosphäre ausgestattet. Die Informationen des Meßgerätes wurden über ein Funkfernmeßsystem zur Erde übertragen. Bemerkenswert ist die Tatsache, daß diese Ergebnisse unabhängig sind von den Eigenschaften der integrierten Dichte der Atmosphäre und von den Vorgängen, die sich dort abspielen.

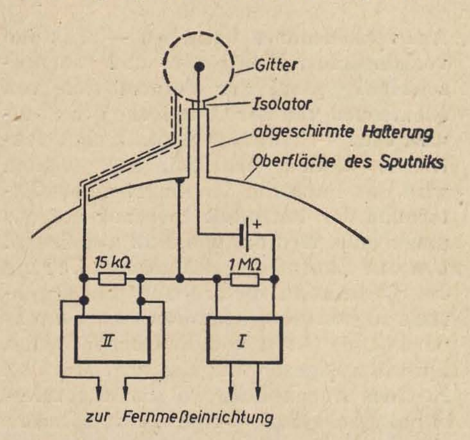


Bild 3: Prinzipschaltbild der Einrichtung zur Bestimmung der Konzentration positiver Ionen

Das Gerät zur Messung positiver Ionen, das in den Sputnik eingebaut wurde, besteht aus zwei Ionenfallen mit kugelförmiger Gitterhülle, die an dünnen Stangen befestigt und an diametral entgegengesetzten Seiten des Sputniks montiert sind. Zur Einrichtung gehört auch eine elektronische Baueinheit mit zwei Verstärkern und einem Generator für sägezahnförmige Spannungsimpulse. Jede der Ionenfallen stellt ein kugelförmiges Gitter dar, in dessen Mitte sich ein kugelförmiger Kollektor befindet. An diesem Kollektor liegt eine gegen das umschließende Gitter negative Spannung (etwa —150 V). Das elektrische Feld zieht alle positiven Ionen, die eingefangen werden, auf dem Kollektor zusammen und treibt alle negativen Ionen heraus.

Der Kollektor ist über einen Widerstand mit der leitenden Oberfläche des Sputniks verbunden. Der Strom der positiven Ionen, die sich auf dem Kollektor gesammelt haben, fließt zur Oberfläche des Sputniks und veranlaßt eine entspre-

chende Zunahme des Elektronenstroms vom umgebenden Medium auf dessen Oberfläche. Der Spannungsabfall am Widerstand steuert den Eingang des Verstärkers, dessen Ausgang an das Funkfernmeßsystem geschaltet ist. Einzelheiten der Meßeinrichtung sind aus den Bildern 3 und 4 zu erkennen.



Bild 4: Die Ionenfalle

Aus verschiedenen Ursachen — z. B. den verschiedenen Elektronen- und Ionengeschwindigkeiten, der Fotoemission von Elektronen von der Oberfläche des Sputniks usw. — kann der Sputnik eine elektrische Ladung erhalten, und folglich wird das Potential der umgebenden Gitterhülle der Ionenfalle in bezug auf das umgebende Medium von Null abweichen. Um den Einfluß der elektrischen Ladung des Sputniks auf die beobachteten Ergebnisse zu bestimmen, werden zwischen das umgebende Gitter und die Oberfläche des Sputniks Sägezahnimpulse angelegt.

In dem Augenblick, wo die Sägezahnimpulse angelegt werden, ermöglichen gleichzeitige Fernmeßaufzeichnungen, die Strom-Spannungs-Kennlinie des Kollektorstromes in bezug auf die Spannung zwischen dem äußeren Gitter der Ionenfalle und der Oberfläche des Sputniks zu erhalten. Das erwartete Aussehen der Kennlinie zeigt Bild 5. Der Punkt, an dem der Kollektorstrom aufhört, mit zunehmendem Potential der Gitterhülle abzunehmen, entspricht dem Bremspotential der Ionen. Wenn die Impulsspannung des Generators und das Bremspotential der Ionen bekannt sind, kann man einen Punkt auf der angegebenen Kurve finden, der dem Zustand entspricht, wo das Potential der Gitterhülle der Ionenfalle in bezug auf das umgebende Medium gleich Null ist. In diesem Augenblick zeigt die Dichte des Ionenflusses die tatsächliche Dichte in der Ionosphäre an. Der Strom, der dem Bremspotential entspricht, ist ein Rest- oder „Dunkel"-Strom, der durch das Eintreten parasitärer Vorgänge entsteht. Alle zwei Sekunden werden zwei bipolare Impulse von 0,2 Sekunden Dauer mit einer Spannung in bezug auf die Oberfläche des Sputniks an die Gitterhüllen der Ionenfallen gelegt.

Die Aufzeichnung der Kollektorströme während der Zeiten, in denen keine Signalimpulse an den Ionenfallen liegen, macht es möglich, den Umfang der Inhomogenitäten kleinen Ausmaßes in der Ionosphäre zu messen.

Zur Zeit befindet sich die Auswertung der Versuchsergebnisse noch im Anfangsstadium, und daher kann nur eine vorläufige Information zur Charakterisierung der Messungen gegeben werden. Wir beschränken uns auf die Betrachtung der Messungen an zwei Punkten der Umlaufbahn des Sputniks, die am ersten Flugtage durchgeführt wurden. Diese Werte sind typisch, obwohl auch zahlenmäßig kleinere Werte beobachtet wurden.

Bild 6 zeigt die Strom-Spannungs-Kennlinie der Kollektorströme der Ionenfallen in Abhängigkeit von der Spannung an den kugelförmigen Gitterhüllen der Ionenfallen in einer Höhe von 795 km am 15. Mai 1958, 5···6 Stunden nach Mittag in mittleren Breiten. Eine der Ionenfallen befand sich im betrachteten Augenblick innerhalb des verdünnten Bereichs hinter dem Sputnik, und auf Grund dieser Tatsache war der Ionenstrom auch klein. Die Punkte völliger Bremsung der positiven Ionen können an der Kennlinie festgestellt werden. Berücksichtigt man, daß die Ionen des atmosphärischen Sauerstoffs in einer gegebenen Höhe die schwersten sind (Atomgewicht 16) und bedenkt man, daß folglich die kinetische Energie der Ionen im Augenblick der Bremsung 5,1 eV ist, so wird es möglich zu bestimmen, daß das Potential der Ionenfallenhülle gleich dem Potential des umgebenden Plasmas ist, wenn die Spannung in bezug auf die Hülle 6,4 V beträgt. Folglich ist das negative Potential der Oberfläche des Sputniks in bezug auf das Plasma ebenfalls gleich 6,4 V. Dieses Potential des Sputniks kann ohne Berücksichtigung des Fotoeffektes nur bei einer effektiven Elektronentemperatur nicht unter 15000° K entstehen. Die Konzentration der positiven Ionen ist gleich $1{,}8 \cdot 10^5$ Ionen pro cm^3.

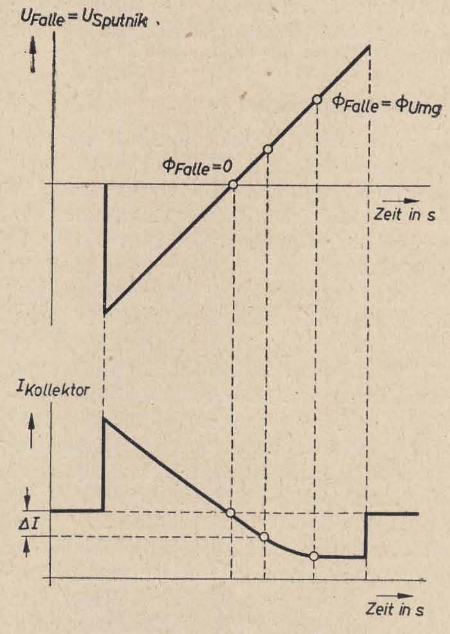


Bild 5: Erwartete Kennlinie der Ionenfalle

Als anderes Beispiel kann die Strom-Spannungs-Kennlinie angezogen werden, die in einer Höhe von 242 km in mittleren Breiten ein bis zwei Stunden vor Mittag am 15. Mai 1958 erhalten wurde. In diesem Fall erwies sich die Konzentration der positiven Ionen als $5{,}2 \cdot 10^5$ Ionen pro cm^3. Das negative Potential des Sputniks war annähernd gleich 2 V und die effektive Elektronentemperatur betrug ungefähr 7000° K.

Die erhaltene Information ist von großer Wichtigkeit für die Physik der oberen Atmosphäre. Die große Skalenhöhe für Elektronen oberhalb der F_2-Schicht sowie die hohe effektive Elektronentemperatur stimmen gut überein mit einer stark erwärmten oberen Atmosphäre, wie sie sich aus Beobachtungen der Bahnbremsung des Sputniks ergibt. Man stellt mit großem Interesse das Fehlen eines thermodynamischen Gleichgewichts zwischen den Elektronen und den Ionen der oberen Atmosphäre fest. Es ist sehr wahrscheinlich, daß die Elektronen der äußeren Atmosphäre durch die veränderlichen Erdmagnetfelder kleiner Periode beschleunigt werden.

Korpuskel-Detektor

Mit Hilfe des dritten sowjetischen Sputniks wurden eine Reihe von Erscheinungen beobachtet, die ihren Ursprung außerhalb der Erde haben. So wurden z. B. die harte elektromagnetische Sonnenstrahlung, die kosmische Strahlung, die Röntgenstrahlung und die γ-Strahlung untersucht.

Als Indikatoren für harte Elektronen wurden Zinksulfid-Fluoreszenzschirme benutzt, die durch Silber aktiviert ($2 \cdot 10^{-3}\,g \cdot cm^{-2}$) und mit Aluminiumfolien verschiedener Dicke ($8 \cdot 10^{-4}\,g \cdot cm^{-2}$ und $4 \cdot 10^{-4}\,g \cdot cm^{-2}$) überzogen waren. Vor den Schirmen (Durchmesser 5 cm) befinden sich drei Aluminium-Diaphragmen mit einer Dicke von 5 mm. Die Diaphragmen haben eine Einführung zum Einfangen von Korpuskeln innerhalb eines räumlichen Winkels von $^1/_4$ Radiant (etwa 14 Grad). Die Emission der fluoreszierenden Schirme wurde mit Hilfe von Fotovervielfachern beobachtet, und die durch diese erzeugten elektrischen Signale in die Speichereinrichtung und dann durch ein Funkfernmeßsystem zur Erde überertragen.

Die Kennlinie des dabei verwendeten Verstärkers war nichtlinear, so daß die Beobachtung von Elektronen mit einer Energie von 10^4 eV und einem Strom von 10^{-11} bis $10^{-8}\,A \cdot cm^{-2}$ bei senkrechtem Einfall auf den Fluoreszenzschirm mit dicker Folie ermöglicht wurde.

Die dünne Folie hatte Mikroporen, die das Sonnenlicht passieren ließen. Wenn der Indikator mit einer derartigen Folie auf die Sonne gerichtet war, erzeugte er eine mittlere Anzeige. Wenn der Sputnik rotierte, mußte der durch die elektromagnetische Sonnenstrahlung erzeugte Fotostrom in bezug auf sein Maximum symmetrisch sein. Eine Kenntnis dieser Umstände ist für die Bestimmung des Korpuskulareffektes auf dem Fluoreszenzschirm mit der dünnen Folie notwendig. Wenn der Indikator mit der dicken Folie

auf die Sonne gerichtet war, gab es keine Signalströme.
Durch beide Indikatoren wurden während der magnetischen Störungen am 15. Mai starke Signale festgestellt. Die Signale gingen manchmal über die Skala hinaus, und selten gab es in der Nähe der Empfindlichkeitsschwelle überhaupt keine Signale. Die Signalamplitude scheint in hohen Breiten größer zu sein als in äquatorialen Breiten, und sie scheint auch in größerer Höhe größer zu sein als in den unteren Schichten. In vielen Fällen entstanden oder verschwanden starke Signale plötzlich innerhalb einer Sekunde. Die Signalamplitude selbst schwankte unaufhörlich.

Es ist noch nicht an der Zeit, unsere Hypothese über den Ursprung der beobachteten Korpuskeln vorzubringen. Wir beschränken uns auf einige kurze Kommentare. Die übliche zeitliche Verzögerung erdmagnetischer Störungen nach dem Durchgang einer charakteristischen Bildung einer Sonnenaktivität durch den Mittelpunkt der Sonne gestattet nicht die Annahme, daß die beobachteten Elektronen mit Energien von einigen keV bis zu einigen hundert keV Sonnenkorpuskeln sein könnten. Es ist auch schwer anzunehmen, daß diese Elektronen in der Nähe der Erde durch Energietransformation primärer Korpuskeln entstanden wären, da Protonen eine Geschwindigkeit von

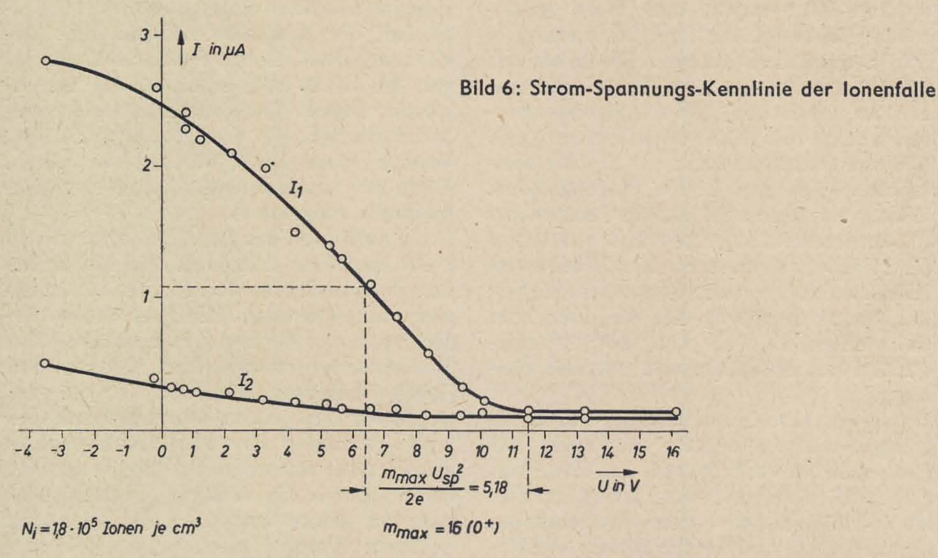


Bild 6: Strom-Spannungs-Kennlinie der Ionenfalle

Die Auswertung der beobachteten Aufnahmen ist noch nicht beendet, und es liegen auch noch keine Vergleiche mit anderen Beobachtungen vor. Angesichts dieser Tatsache haben wir noch keine endgültige Meinung.
In den Fällen, wo die Emissionsstärke des dünnen Fluoreszenzschirms etwas niedriger war als des mit der dicken Folie, konnte man annehmen, daß die Elektronenenergie 10^4 eV nicht überschreitet und sie konnte auch niedriger sein als dieser Wert. Es sei jedoch darauf hingewiesen, daß die benutzten Meßgeräte härtere Elektronen nicht hätten feststellen können, wenn deren Anteil geringer war als $^1/_4$ der weicheren Elektronen. Wenn somit der Elektronenfluß $4 \cdot 10^3$ erg · s^{-1} · cm^{-2} pro Radiant überschritt, war das Meßgerät unwirksam. Der Elektronenfluß war in diesem Augenblick mindestens tausendmal größer als der Fluß, der der minimalen Empfindlichkeit des Meßgerätes entspricht. Eine derartig intensive Strahlung wird zweifellos die Untersuchung der Röntgenstrahlung der Sonne und der kosmischen Gamma-Strahlung schwieriger gestalten. Die Röntgenstrahlung von Elektronen kann für Lebewesen, die sich in der oberen Atmosphäre für eine lange Zeit ohne Spezialschutz aufhalten müssen, gefährlich werden. Andererseits können die energiereichen Elektronenflüsse die obere Atmosphäre stark erwärmen, wodurch ihre Skalenhöhe vergrößert wird. Viele neue Meßergebnisse über die obere Atmosphäre sind ohne Zweifel von sehr großem Interesse.

etwa $2 \cdot 10^8$ cm · s^{-1} besitzen. Um die genannten Energieflüsse von mehr als $4 \cdot 10^3$ erg · s^{-1} · cm^{-2} pro Radiant zu erklären, ist erforderlich, daß die Protonendichte der primären Flüsse etwa $4 \cdot 10^3$ cm^{-3} beträgt, aber das hat man bei Untersuchungen der Wasserstoff-Emission des Nordlichtes noch nicht gefunden.
Es ist wichtig, auf die Möglichkeit hinzuweisen, daß die beobachteten Erscheinungen durch eine Beschleunigung der Elektronen in der äußeren Atmosphäre (in der leitenden Kette, die längs der erdmagnetischen Kraftlinien in der äußeren Atmosphäre und in der Ionosphäre gebildet wird) auf Grund veränderlicher Magnetfelder, die in den von der Sonne kommenden Korpuskularflüssen eingefroren sind, entstehen. Es ist zu erwarten, daß die schnelleren Elektronen in diesem Fall eher in die polaren Gebiete gelangen als in die Bereiche kleiner Breite, da zu den Polarbereichen eine Kontur großer Fläche gehört. Das Anwachsen der Elektronenflüsse während des Tages kann durch das Anwachsen der Ionisation an der Grenze der Exosphäre erklärt werden. Als Folge der Vergrößerung der Ionisation kann eine große Anzahl ionisierter Teilchen in die äußere Atmosphäre gelangen. Das kann auch geschehen auf Grund der magnetischen Pulsierungen, die während des Tages stärker sind. Wenn die Elektronen eine gewisse Geschwindigkeit erreicht haben, können sie längs der gekrümmten erdmagnetischen Kraftlinien in Schwingungen geraten.
Es ist auch wichtig, darauf hinzuweisen, daß diese Daten durch die Angaben vollkommen bestätigt werden, die mit der Meßeinrichtung zur Auffindung von außerhalb der Erde kommender Röntgen- und γ-Strahlung erhalten wurden. Da durch das Bombardement der Oberfläche des Sputniks mit schnellen Elektronen eine parasitäre Röntgenemission entsteht, ist es unmöglich, die erwartete Raumstrahlung zu beobachten.

Mikrometeoriten-Detektor

Der dritte sowjetische Sputnik war auch mit Meßeinrichtungen zur Beobachtung von Zusammenstößen mit Mikrometeoriten ausgestattet. Sie bestehen aus einem ballistischen Piezo-Indikator aus Ammoniumphosphat und einem Verstärker. Piezo-Indikatoren werden zur Messung von Impulsen von 10^{-1} bis 10^3 g · cm · s^{-1} benutzt. Der Verstärker dient dazu, die Spannung, die vom Piezo-Indikator als kurzzeitig gedämpfte Schwingung kommt, ihrer Amplitude nach zu verteilen. Der Verstärker zählt außerdem die Anzahl der Impulse in jedem Amplitudenbereich. Die benutzten Indikatoren ermöglichen es, Teilchen mit einer Masse von 10^{-9} g und darüber festzustellen.
Der Einbau derartiger Meßeinrichtungen in Raketen ergab, daß die mittlere Anzahl der Zusammenstöße mit Mikrometeoriten in Höhen von 150 bis 300 km pro m² und Sekunde 50 betrug. Der dritte sowjetische Sputnik half uns, zum ersten Male umfangreiche Information über Zusammenstöße mit Mikrometeoriten bis zu Höhen von 1000 km zu erhalten. Die Meßangaben befinden sich zur Zeit in der Auswertung; die schon jetzt vorliegenden Resultate bestätigen die durch die Raketen erhaltenen Ergebnisse.

Magnetometer

Der dritte sowjetische Sputnik war außerdem mit einem Magnetometer zur Messung des Erdmagnetfeldes in großen Höhen ausgerüstet. Dieses Gerät diente ferner dazu, die Orientierung des Sputniks im Magnetfeld der Erde zu bestimmen. Schließlich war es mit dem Magnetometer möglich, zahlreiche Unregelmäßigkeiten in Stärke und Richtung des Magnetfeldes in den oberen Schichten der Atmosphäre festzustellen. Die erhaltenen Angaben sind sehr umfangreich und befinden sich zur Zeit noch in der Auswertung. Es besteht kein Zweifel darüber, daß die Ergebnisse über die Abweichungen eines Magnetfeldes vom normalen Zustand bei der Untersuchung der ionosphärischen Ströme von Nutzen sein werden.

Schlußbetrachtung

Der dritte sowjetische Erd-Sputnik hat wertvolles Material geliefert für die Konstruktion und die Laboratoriumsausstattung künstlicher Erdsatelliten zur Erforschung der oberen Atmosphäre. Schon die vorläufigen Ergebnisse zeigen, daß die erhaltenen Angaben einen großen wissenschaftlichen Wert besitzen. Wir sind gespannt auf die großartigen Perspektiven für die Erforschung der oberen und äußeren Atmosphäre bei immer größeren Höhen mit Hilfe immer vollkommenerer künstlicher Erdsatelliten.

S. GEJER und O. RUE

Radiobeobachtungen künstlicher Erdsatelliten

Mit Hilfe künstlicher Erdsatelliten erstrebt man, die Kenntnis über geophysikalische Erscheinungen zu erhöhen, wie es die Form, die Eigenschaften der Erde und die Zusammensetzung der Erdatmosphäre bedingen. Besonders aber interessieren Strahlungen von der Sonne und aus dem Weltraum, die wegen der Absorption in der Erdatmosphäre nicht auf die Erdoberfläche gelangen.

Die Untersuchungen und Messungen können in zwei Gruppen eingeteilt werden. Die erste besteht aus der Bestimmung der Satellitenbahn durch Messungen in Stationen auf der Erde. Hieraus ergibt sich die Möglichkeit, mit bisher unbekannter Genauigkeit die Form der Erde zu bestimmen. Das Kartennetz der verschiedenen Kontinente zusammenzufügen sowie die Dichte der Atmosphäre in sehr großen Hönen, 1000 km und mehr, zu bestimmen. Auch wenn die Atmosphäre dort sehr dünn ist, bietet sie dem Satelliten einen meßbaren Widerstand. Bei Kenntnis seiner Abmessungen und der Form seiner Bahn kann die Luftdichte berechnet werden. Durch kombinierte optische und Radiobeobachtungen von der Erde her bestehen auch gewisse Möglichkeiten, die Ionisation zu bestimmen. Dabei benutzt man den Umstand, daß die Radiowellen in der Ionosphäre abgelenkt werden, während die Lichtwellen geradeaus streben.

Die zweite Art von Messungen erfolgt mit Instrumenten, die im Satelliten eingebaut sind. Es handelt sich vor allem um das Messen der ultravioletten Sonnenstrahlung und Röntgenstrahlung, der kosmischen Strahlen, des erdmagnetischen Feldes, des kosmischen Staubes (Mikrometeoriten), meteorologischer Verhältnisse usw.

Allgemeines

Von besonderem Interesse ist die extrem ultraviolette Strahlung im Lyman-Alphagebiet, wo der Hauptteil der Sonnenstrahlung in einem schmalen Band konzentriert ist. Die meßtechnischen Probleme gehörten hierbei zu den schwierigsten. Mit Fotozellen in Verbindung mit Spektrografen hofft man, zufriedenstellende Ergebnisse zu erzielen. Mit solchen Einrichtungen, die in Raketen eingebaut waren, glückte eine elektronische Registrierung der ultravioletten Sonnenstrahlung und Röntgenstrahlung.

Die kosmische Strahlung besteht aus Partikeln mit hoher Energie, die auf die Erde einfallen und aus dem interstellaren Raum oder von der Sonne kommen. Auch diese Strahlung wird teilweise in der Atmosphäre absorbiert. Die Messung der kosmischen Strahlen erfolgt mit eingebauten Geiger-Müller-Zählrohren, die mit sehr kleinen Bandaufnahmeapparaten kombiniert sind. Wünschenswert ist eine erweiterte Kenntnis über die Beziehungen zwischen den Vorgängen auf der Sonne einerseits und den Veränderungen im erdmagnetischen Feld, dem Auftreten des Polarlichtes sowie den Störungen in der Radiowellenausbreitung andererseits. Die Messung der erdmagnetischen Feldstärke geht mit Magnetometern vor sich, die im Satelliten eingebaut sind.

Kleine Meteoritpartikel von äußerst geringem Durchmesser gelangen mit großer Geschwindigkeit ständig in die Erdatmosphäre. Man meint, daß diese Mikrometeoriten wesentlich zur Ionisierung in der E-Schicht beitragen. Die Kenntnis über ihr Auftreten, ihre Größe und Anzahl ist von Bedeutung. Die Beobachtungen werden mit Hilfe von Mikrofonen und anderen Einrichtungen, die die Meteoritenaufschläge registrieren, durchgeführt. Weiter war beabsichtigt, die Temperatur im Innern des Satelliten und auf seiner Oberfläche zu messen. Die Wärme im Satelliteninnern rührt hauptsächlich von der Sonnenstrahlung her und nur zum unbedeutenden Teil von den Energiequellen des Satelliten und von der Reibung.

Damit ein Abschießen derartiger Raketen gelingt, müssen mehrere Abschüsse mit Proberaketen vorhergehen. Mit Hilfe von eingebauten Telemeterausrüstungen kann man ermitteln, wie diese Proberaketen sich verhalten und welche Höhen und Positionen sie erreichen. Solche Telemeterausrüstungen sind für den Einsatz in Raketen entwickelt, die gestartet wurden, um Messungen in den höheren Luftschichten vorzunehmen.

Als Beispiel kann erwähnt werden, daß eine „Viking"-Rakete, die im Mai 1954 gestartet wurde und eine Höhe von 250 km erreichte, mit Nachrichtenausrüstungen versehen war und während des ganzen Flugs Signale sandte und registrierte.

Bestimmung der Bahn mittels Radiobeobachtung

Die Satelliten werden mit Hilfe gesteuerter Mehrstufenraketen in ihre Bahnen gebracht, d. h. Raketen, die in sich eine vorher eingestellte Steuerungseinrichtung enthalten.

Ist der Satellit gut gestartet, so handelt es sich darum, seine Bahn festzustellen. Mit optischen Instrumenten kann der Satellit nur in der Abenddämmerung und im Morgengrauen unter der Voraussetzung beobachtet werden, daß klares Wetter herrscht. Auch wenn die Radiomethoden keine so genauen Angaben wie die astronomischen Beobachtungen bringen können, sind ihre Angaben für viele Zwecke vollkommen ausreichend. Sie sind vom Wetter und von der Tageszeit unabhängig. Außerdem erhält man durch sie solche Angaben über die Position des Satelliten, daß das Suchen bei astronomischen Beobachtungen beträchtlich erleichtert wird. Die Radiomethode besteht darin, daß Signale von einem im Satelliten eingebauten Sender gleichzeitig von einer Anzahl Beobachtungsorte auf der Erde angepeilt werden. Das spezielle System, das in den USA entwickelt wurde, nennt man „Minitrack". Es hat seinen Namen nach dem im Satelliten eingebauten Transistorsender, der minimale Abmessungen besitzt, erhalten. Dieser Sender soll normal mit 20 bis 80 mW arbeiten. Als Stromquelle sollen Quecksilberbatterien benutzt werden, die erwartungsgemäß den Sender etwa drei Wochen betreiben. Ebenfalls sind Sonnenbatterien als Energiequelle vorgesehen.

Zum Auffinden des Satelliten sind in den USA ungefähr längs des 75. westlichen Längengrades eine Reihe von Stationen eingerichtet worden. Die Ausrüstung dieser Stationen besteht unter anderen aus Radiointerferometern, mit denen man durch Phasenvergleich den Winkel zum Satelliten bei jedem Durchlauf messen kann. Während der Satellitenbewegung erfolgt eine automatische Registrierung, so daß durch die Analyse der Registrierung zu jedem Zeitpunkt die Richtung bestimmt werden kann.

Die Richtungs- und Zeitwerte werden von den Bodenstationen im Laufe von etwa 20 min nach erfolgter Messung zu einer Rechenzentrale nach Washington geschickt. Auf Grund von sechs dieser Messungen kann die Zentrale die Bahn mit ausreichender Genauigkeit angeben, damit optische Beobachtungen den Satelliten finden können. Man glaubt jedoch, etwa zwei Wochen zu benötigen, um eine Bahnbestimmung durchzuführen, die für geodätische Bestimmungen der Form und Größe der Erde ausreichend genau ist. In Verbindung mit den nachstehenden Beobachtungen der Radiosendungen der sowjetischen Satelliten in „Enköping" sollen auch die Möglichkeiten diskutiert werden, die Bahn durch Messung der Doppler-Frequenz angenähert zu berechnen.

Übermittlung der Meßwerte aus den Satelliten

Für die Übermittlung der Satellitenmeßwerte beabsichtigt man in den USA ein hochentwickeltes Telemetersystem zu benutzen. Das Einschalten der Ausrüstung im Satelliten erfolgt mit Radiosignalen von einem Bodensender aus. Diese Signale beeinflussen einen im Satelliten eingebauten Superheterodynempfänger in Miniaturausführung. Hierdurch werden das Meßinstrument und der Telemetermodulator eingeschaltet, sowie das Antennensystem des Satelliten von dem kleinen Minitrack-Sender auf einen etwas größeren Sender von etwa 0,5 W umgeschaltet. Die Meßergebnisse gelangen also zur Auswertung, wenn der Satellit die

vorher erwähnten Peilstationen passiert. Die eigentliche Sendung dürfte nicht länger als etwa 30 s dauern. In gewissen Fällen sollen elektronisch-magnetische Gedächtnisse benutzt werden, in denen man die Meßwerte speichert, bis sie abgegeben werden, wenn der Satellit die erwähnten Peilstationen passiert.

Kontrollstationbeobachtungen in Enköping

Als in der Nacht vom 4. zum 5. Oktober 1957 bekannt wurde, daß man in der Sowjetunion einen künstlichen Erdsatelliten gestartet hat, begannen in der Radiokontrollstation bei Enköping sofort Frequenzmessungen dieser beiden Sender, die im 20- bzw. 40-MHz-Band arbeiteten. Die Stärke der Sendersignale wurden ebenfalls registriert. Die normalen Aufgaben der Kontrollstationen bestehen in der Überwachung von Signalsendungen, Frequenzmessungen, Messen der gesendeten Bandbreite sowie Messung und Registrierung der Feld- und Signalstärke von Sendern verschiedener Art. Oft werden diese Messungen in Verbindung mit internationalen „Meßkampagnen" durchgeführt. Erstmalig hatte man nun Gelegenheit, Messungen an zwei Sendern durchzuführen, die sich praktisch außerhalb der Ionosphäre befanden.

Frequenzmessungen

Bild 1 zeigt Frequenzmessungen vom ersten sowjetischen Erdsatelliten. Sie wurden während drei aufeinanderfolgenden Durchgängen ausgeführt. Die in der dänischen Kontrollstation in Lyngby durchgeführten Messungen sind ebenfalls eingezeichnet.

Das Charakteristische an diesen Kurven ist der Doppler-Effekt. Wenn der Satellit

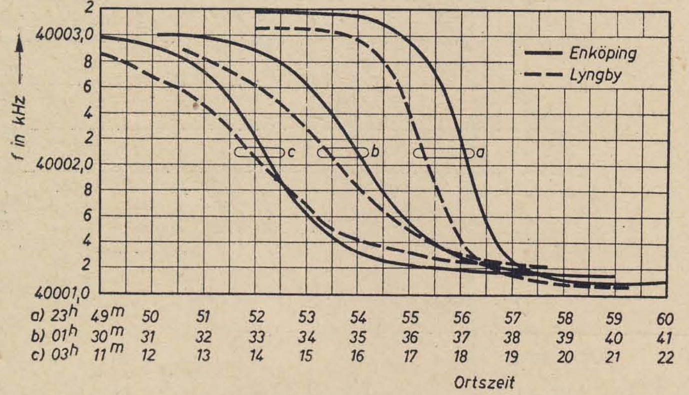


Bild 1: Frequenzmessungen am Sender des ersten sowjetischen Erdsatelliten in Enköping und Lyngby (Dänemark) vom 9. zum 10. Oktober 1957

am Horizont auftaucht und der Sender hörbar wird, ist die gemessene Frequenz bedeutend höher als die tatsächliche, weil sich der Satellit mit großer Geschwindigkeit dem Beobachtungsort nähert — oder richtiger gesagt — eine große Geschwindigkeitskomponente in der Richtung zu ihm hat. Die Differenz zwischen der tatsächlichen Frequenz und der gemessenen nennt man die Doppler-Frequenz. Je kleiner die Geschwindigkeitskomponente ist, um so kleiner ist die Doppler-Frequenz. Befindet sich der Satellit an dem Punkt, der dem Beobachtungsort am nächsten liegt, ist die Doppler-Frequenz Null, und die gemessene Frequenz ist dann die tatsächliche Frequenz des Senders. Entfernt sich der Satellit wieder, wird die Doppler-Frequenz größer, wenn auch mit entgegengesetztem Vorzeichen.

Im Bild 2 wird ein anderes Beispiel derartiger Frequenzmessungen dargestellt. Aus derartigen Messungen kann man genaue Angaben über die Bahn des Satelliten erhalten. Die Berechnungen basieren auf folgenden Gleichungen:

$$D = \frac{v_r}{c} \cdot f_0, \qquad (1)$$

$$r_0 = \frac{f_0}{c} \cdot \frac{1}{\left(\frac{df}{dt}\right)_{max}} \cdot v^2. \qquad (2)$$

Gleichung (2) gilt unter der Voraussetzung, daß die Krümmung der Satellitenbahn vernachlässigt wird.

In den Gleichungen (1) und (2) bedeuten:

$D = f - f_0$ — die Doppler-Frequenz,

v — die Geschwindigkeit des Satelliten in bezug auf den Beobachtungsort,

$v_r = \frac{dr}{dt}$ — die Geschwindigkeitskomponente in Richtung auf den Beobachtungsort,

r — den Abstand zwischen dem Beobachtungsort und dem Satelliten,

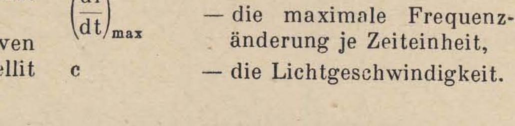
r_0 — den kürzesten Abstand zum Satelliten,

f — die gemessene Frequenz,

f_0 — die tatsächliche Frequenz des Senders,

$\left(\frac{df}{dt}\right)_{max}$ — die maximale Frequenzänderung je Zeiteinheit,

c — die Lichtgeschwindigkeit.



Wenn sich der Satellit im kürzesten Abstand (r_0) zum Beobachtungsort befindet, ist die Doppler-Frequenz Null, die gemessene Frequenz (f) ist gleich der tatsächlichen Frequenz (f_0) des Satellitensenders und die Frequenzänderung je Zeiteinheit $\frac{df}{dt}$ hat ein Maximum.

Den gezeichneten Frequenzkurven als Funktion der Zeit entnimmt man, z. B. durch grafische Konstruktion, den Zeitpunkt t_0, zu dem $\frac{df}{dt}$ ein Maximum aufweist. Ist t_0 bekannt, erhält man aus den Kurven f_0, wonach die Doppler-Frequenz

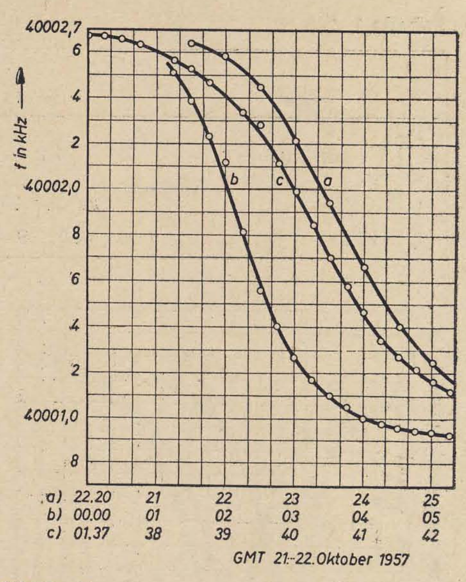
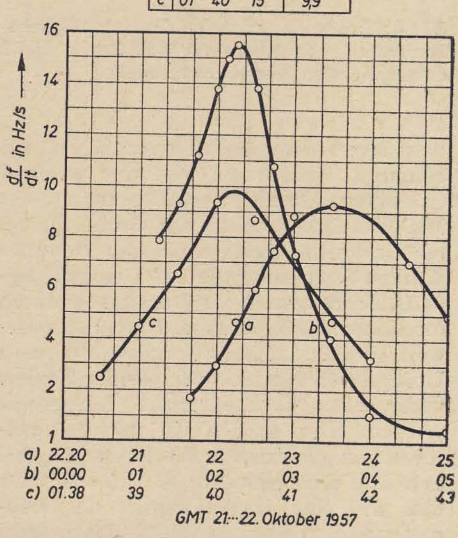


Bild 2: Frequenzmessungen am Sender des Satelliten auf 40 MHz, in Enköping vom 21. zum 22. Oktober 1957



	t_0	$\left(\frac{df}{dt}\right)_{max}$
a	22h 23m 35s	9,2
b	00 02 17	15,5
c	01 40 15	9,9

Bild 3: Frequenzänderung (pro sec) der drei im Bild 2 gezeichneten Frequenzmessungen

und damit die radiale Geschwindigkeitskomponente (v_r) berechnet werden kann. Für die Frequenzkurven im Bild 2, die bei drei aufeinanderfolgenden Durchgängen ungefähr um 22.23 GMT am 21. Oktober 1957 (a) und um 00.02 (b) sowie 01.40 (c) am 22. Oktober 1957 gemessen wurden, ist $\frac{df}{dt}$ mit Hilfe einer einfachen grafischen Methode konstruiert. Das Ergebnis ist im Bild 3 wiedergegeben. Daraus erhielt man die Maximalwerte für $\frac{df}{dt}$ sowie t_0. Ist t_0 bekannt, erhält man f_0 aus den Kurven im Bild 2. Diese Ergebnisse sind in der Tabelle 1 zusammengestellt.

Im Bild 4 sind die radialen Geschwindigkeitskomponenten dargestellt.

Die Zeit t_0 konnte auf ein paar Sekunden genau und f_0 auf etwa $1 \cdot 10^6$ genau bestimmt werden. Es ist wichtig, daß man so dicht aufeinanderfolgende Frequenz-

Tabelle 1

	Durchgang a	Durchgang b	Durchgang c
$\left(\frac{df}{dt}\right)_{max}$ in Hz/s	9,2	15,5	9,9
t_0 in GMT	$22^h\ 23^m\ 35^s$	$00^h\ 02^m\ 17^s$	$01^h\ 40^m\ 15^s$
f_0 in kHz	40001,89	40001,79	40001,86

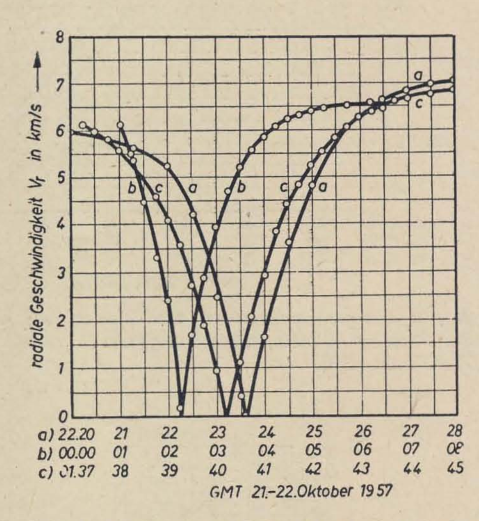


Bild 4: Größe der radialen Geschwindigkeitskomponente, berechnet mit Hilfe der im Bild 2 durchgeführten Frequenzmessungen

messungen wie möglich durchführt, mit einem Zwischenraum von nur wenigen Sekunden. Eine gewisse Begrenzung der Meßgenauigkeit dürfte auf Grund kleinerer Unregelmäßigkeiten in den Doppler-Kurven entstehen, die auf Geschwindigkeitsänderungen beim Durchgang durch die Ionosphäre beruhen können. Inwieweit eine Instabilität der Sendefrequenz Unregelmäßigkeiten der Meßergebnisse verursacht, konnte nicht festgestellt werden. Der größte Unterschied zwischen den gemessenen Werten von f_0 bei den drei Durchgängen ist $2{,}5 \cdot 10^6$. Ob dies auf eine Ungenauigkeit der Meßmethode oder eine Instabilität des Senders zurückzuführen ist, kann nicht entschieden werden. Man muß damit rechnen, daß die Ionosphäre einen gewissen Einfluß auf die Meßergebnisse auch bei 40 MHz besitzt.

Die Messungen bei 20 MHz bringen weniger gleichmäßige Ergebnisse, wie aus Tabelle 2 hervorgeht.

Es muß hervorgehoben werden, daß t_0 mit großer Genauigkeit direkt aus den Frequenzkurven zu ermitteln ist, wenn eine hohe Frequenzstabilität des Senders garantiert werden kann.

Für die Berechnung von r_0 und v wurden verschiedene Methoden vorgeschlagen. Eine Methode ist von Forschern des Lincoln Laboratory, Mass. Inst. Techn., Lexington, Mass. [2] angegeben. Dort wird die Gleichung (2) benutzt.

Eine andere Methode wurde von Staff of the Royal Aircraft Establishment, Farnborough [3] folgendermaßen angegeben:

Vernachlässigt man die Krümmung der Erdoberfläche und der Satellitenbahn, so gilt

$$r^2 = r_0^2 + v^2 \cdot T^2, \qquad (3)$$

wenn T die von t_0 an gerechnete Zeit ist. Die Gleichung (3) kann ausgedrückt werden in

$$\frac{r^2}{v^4} = \frac{r_0^2}{v^4} + \frac{T^2}{v^2}.$$

Durch Ableitung der Gleichung (3) erhält man

$$\frac{dr}{dT} = \frac{v^2}{r} \cdot T \quad \text{oder} \left(\frac{r}{v^2}\right)^2 = \left(\frac{T}{\frac{dr}{dT}}\right)^2.$$

Nach Gleichung (1) gilt die Beziehung

$$\frac{dr}{dT} = v_r = \frac{c}{f_0} \cdot D. \text{ Somit ist}$$

$$\left(\frac{T}{D}\right)^2 = \left(\frac{c}{f_0}\right)^2 \cdot \frac{1}{v^2} \cdot T^2 + \left(\frac{c}{f_0}\right)^2 \cdot \frac{r_0^2}{v^4} = kT^2 + l.$$

Wenn also $\left(\frac{T}{D}\right)^2$ als Funktion von T^2 gezeichnet wird, bekommt man eine Gerade, in der $k = \left(\frac{c}{f_0}\right)^2 \cdot \left(\frac{1}{v^2}\right)$ ist, woraus man

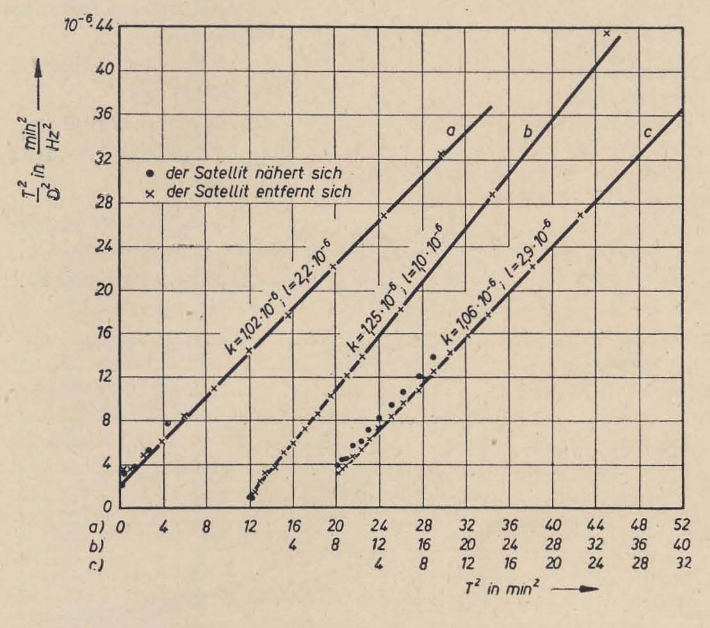


Bild 5: Grafische Bestimmung der Geschwindigkeit (v) des Satelliten und kleinster Abstand (r_0) durch Zeichnen von $\left(\frac{T}{D}\right)^2$ als Funktion von T^2. Die Ausgangswerte sind die Frequenzmessungen im Bild 2

$$v = \frac{c}{f_0} \cdot \frac{1}{\sqrt{k}} \qquad (4)$$

und

$$l = \left(\frac{c}{f_0}\right)^2 \cdot \frac{r_0^2}{v^4}$$

erhält. Letzteres ergibt

$$r_0 = v^2 \frac{f_0}{c} \cdot \sqrt{l} \cdot \qquad (5)$$

Da außerdem nach den Gleichungen (2) und (5) $\left(\frac{df}{dt}\right)_{max} = \frac{1}{\sqrt{l}}$ ist, ist auch

$$r_0 = v^2 \frac{f_0}{c} \cdot \frac{1}{\left(\frac{df}{dt}\right)_{max}} \cdot \qquad (6)$$

Diese Methode wurde als Beispiel zur Berechung von v und r_0 für die drei Durch-

Tabelle 2

	Durchgang a	Durchgang b	Durchgang c
$\left(\frac{df}{dt}\right)_{max}$ in Hz/s	3,9	7,6	5,0
t_0 in GMT	$22^h\ 23^m\ 10^s$	$00^h\ 02^m\ 09^s$	$01^h\ 40^m\ 35^s$
f_0 in kHz	20004,90	20004,73	20004,63

Tabelle 3

		Durchgang a	Durchgang b	Durchgang c
v in km/s	40 MHz	7,4	6,7	7,3
$(v_r)_{max}$ in km/s	40 MHz	7,2	6,6	6,9
	20 MHz	7,0	6,9	6,8
r_0 nach (5) in km	40 MHz	650,0	360,0	720,0
r_0 nach (6) in km	40 MHz	790,0	385,0	725,0

gänge im Bild 2 benutzt. Im Bild 5 sind die Werte $\left(\frac{T}{D}\right)^2$ als Funktion von T^2 dargestellt.
Aus den dabei erhaltenen Werten wurden v und r_0 nach den Gleichungen (4) und (5) berechnet. Außerdem wurde r_0 nach der Gleichung (6) berechnet. Die erhaltenen Ergebnisse sind in Tabelle 3 zusammengestellt.
Es zeigt sich, daß man verschiedene Werte erhält, wenn sich der Satellit nähert oder entfernt. Dies erklärt sich daraus, daß seine Bahn elliptisch ist. In der Tabelle 3 sind auch Werte von $(v_r)_{max}$ angegeben. Daraus geht hervor, daß man der tatsächlichen Geschwindigkeit nur dadurch ziemlich nahe kommt, daß man aus den Frequenzmessungen den größten Wert der radialen Geschwindigkeitskomponente bestimmt. Sämtliche Werte der Tabelle beziehen sich auf die Fälle, in denen sich der Satellit vom Beobachtungsort entfernt.
Werden die Werte der Tabelle 3 für zwei oder mehrere Durchgänge bestimmt, ist es möglich, die Satellitenbahn genauer zu errechnen. Dabei muß für die Bahnkrümmung eine Korrektur eingeführt werden. Es können auch gleichzeitige Beobachtungen an verschiedenen Orten (wie im Bild 1) zur Bahnberechnung benutzt werden.

Übermittlung der Beobachtungsdaten aus dem Satelliten

Es wurde bereits erwähnt, daß man durch Bestimmung der Satellitenbahn mittels Radiobeobachtungen und optischen Methoden wichtige Informationen über die Erdform und die Atmosphärendichte erhalten kann.
Weitere Kenntnisse der Ionosphäreneigenschaften sind durch Beobachtungen von der Erde aus unter der Voraussetzung zu erreichen, daß ein Signal geeigneter Frequenz vom Satelliten ausgestrahlt wird. Diese Signale brauchen keinen besonderen Inhalt zu übertragen, ihre Frequenz und Leistung sowie die Eigenschaften des Antennensystems müssen jedoch bekannt sein.

Beobachtete Weltraumkörper

Folgende künstliche Satelliten, die bisher gestartet sind, wurden beobachtet:

Sputnik I

Frequenzen: 20,005 und 40,002 MHz. Gestartet am 4. 10. 1957 und gehört bis zum 25. 10. 1957 (die Signale blieben aus, nachdem sich die Batterien verbraucht hatten).

Sputnik II

Frequenzen: 20,005 und 40,002 MHz. Gestartet am 3. 11. 1957 und gehört bis zum 8. 11. 1957.
Die amerikanischen Satelliten Explorer I und Vanguard I sowie Explorer III wurden in der Kontrollstation nicht gehört. Frequenzen: 108,00 und 108,03 MHz. Die Bahnen lagen nicht nördlicher als 33° N.

Sputnik III

Frequenz: 20,005 MHz. Gestartet am 15. 5. 1959 und weiterhin hörbar. Die Art und Stärke der Sendung ist seit dem Start unverändert. Frequenzmessungen werden einmal wöchentlich während der etwa acht aufeinanderfolgenden Durchgänge, bei denen die Signale hörbar sind, durchgeführt.

Explorer IV

Frequenzen: 108,00 und 108,03 MHz. Gestartet am 2?. 7. 1958. Die Frequenz wurde vom 28. 7. 1958 bis zum 7. 8. 1958 gemessen. Die Bahnen lagen etwas nördlicher als die der vorhergehenden amerikanischen Satelliten. Die Signale waren sehr schwach.

Pionier I

Frequenzen: 108,003 und 108,06 MHz. Gestartet am 11. 10. 1958 um 0842 GMT. Einige Male am ersten Tage schwach hörbar.

Beobachtungen am Explorer IV

Typische Schwankungen der Signalstärke vom 30-mW-Sender mit der Frequenz von 108,03 MHz sind im Bild 6 wiedergegeben. Man beobachtete, daß ein Schnellfading der Mehrwellenübertragung von einer langsamen Schwankung mit einer Periode von etwa 3,5 s überlagert war, was durch die rotierende Satellitenbewegung erklärt wird.

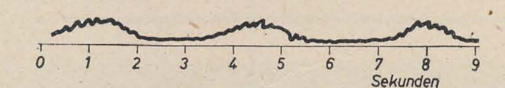


Bild 6: Relative Signalstärke des Explorer IV, 108,030 MHz. Das Bild ist nach einer in Enköping am 7. August 1958 um 0940 GMT durchgeführten Registrierung wiedergegeben

Die Bahnebene des Satelliten ist um etwa 50° zur Äquatorialebene geneigt. Er kommt also niemals weiter nach Norden als bis etwa 50° nördlicher Breite und ist in Enköping nur kurzzeitig einige Male täglich hörbar. Die Hörbarkeitszeiten vom 28. 7. bis zum 7. 8. 1958 gehen aus der Tabelle 4 hervor.

Tabelle 4

Datum	GMT Enköping	Datum	GMT Enköping
28. 7.	1311—1314	3. 8.	1023—1029
	1504—1509		1218—1225
29. 8.	1111—1112	4. 8.	1015—1021
	1302—1307		1209—1214
	1457—1503		1402—1407
	1653—1656	5. 8.	0810—0814
30. 7.	1101—1106		1003—1010
(108	1256—1304		1157—1204
MHz)	1450—1455		1351—1355
31. 7.	1052—1057	6. 8.	0952—0959
	1246—1252		1146—1153
	1440—1444		1342—1343
1. 8.	1043—1048	7. 8.	0748—0753
	1237—1243		0943—
	1432—1437		1134—1141
2. 8.	1039—1040		
	1226—1234		
	1423—1426		

Beobachtungen am Pionier I

Am 11. Oktober 1958 um 0842 GMT wurde die Rakete vom Cap Canaveral in Florida abgefeuert. Ihr Radiosender auf der Frequenz 108,06 MHz wurde in der Kontrollstation in Enköping am 11. 10. 1958 während folgender Zeiten schwach gehört:

08.55···09.01 mit der Stärke 1,

13.31···13.37 mit der Stärke 0—1,

16.55···16.56 mit der Stärke 0—1.

Die Frequenz änderte sich anfangs sehr schnell, um später immer langsamer bis auf 108,06 MHz anzusteigen.
Zuverlässige quantitative Frequenzmessungen konnten jedoch in ausreichender Anzahl an den sehr schwachen, zeitweise verschwindenden Signalen, nicht ausgeführt werden. Die Berechnung der Dopplerkurve und der Raketenbahn ist deshalb nur theoretisch durchführbar.
Die Bahn und die Geschwindigkeit kann aus den dynamischen Gleichgewichtsgleichungen im passiven Teil der Bahn außerhalb der Erdatmosphäre berechnet werden.

Die Gleichgewichtsgleichungen lauten:

$$\frac{dr^2}{dt^2} = -g\frac{R^2}{r^2} \qquad (7)$$

und

$$\frac{d\varphi^2}{dt^2} = 0. \qquad (8)$$

Darin bedeuten r der Abstand zwischen dem Erdzentrum und der Rakete, t die Zeit von r_{max} an gerechnet, φ der Winkel zwischen r_{max} und r, g und R die Gravitationskonstanten an der Erdoberfläche bzw. der Erdradius.
Die Differentialgleichung (7) wird dadurch gelöst, daß man mit $2\frac{dr}{dt}$ multipliziert, wonach man die radiale Geschwindigkeit

$$v_r = \frac{dr}{dt} = \pm\sqrt{\frac{2gR^2}{r} - A} \quad \text{erhält.} \qquad (9)$$

In Gleichung (9) setzt man für

$$r = r_{max}, \quad v_r = 0 \quad \text{und} \quad A = \frac{2gR^2}{r_{max}}. \qquad (10)$$

Somit ist

$$v_r = \pm\sqrt{2gR^2\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_{max}}\right)} \qquad (11)$$

und die Doppler-Frequenz

$$D = \pm\frac{f_0}{c}\sqrt{2gR^2\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_{max}}\right)}. \qquad (12)$$

Nach Gleichung (9) ist

$$\int\frac{dr}{\sqrt{2gR^2\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_{max}}\right)}} = \pm t + B \qquad (13)$$

und nach Gleichung (8)

$$\varphi = A_1 \cdot t, \text{ da } \varphi = 0 \text{ für } t = 0 \text{ ist.} \qquad (14)$$

Man erhält also die Bahn aus der Integralgleichung

$$A_1 \cdot \int \frac{dr}{\sqrt{2\,g\,R^2\left(\frac{1}{r}-\frac{1}{r_{max}}\right)}} = \pm\varphi + C, \qquad (15)$$

die die allgemeine Lösung

$$\pm\varphi + C = -\frac{A_1 \cdot r_{max}^2}{2\sqrt{2\,k \cdot r_{max}}}\left[2\sqrt{\frac{r}{r_{max}}-\left(\frac{r}{r_{max}}\right)^2} + \arcsin\left(1-\frac{2\,r}{r_{max}}\right)\right] \qquad (16)$$

hat. Man erhält schließlich

$$\varphi = \pm\frac{A_1 \cdot r_{max}^2}{2\sqrt{2\,k \cdot r_{max}}}\left[\frac{\pi}{2} + 2\sqrt{\frac{r}{r_{max}}-\left(\frac{r}{r_{max}}\right)^2} + \arcsin\left(1-\frac{2\,r}{r_{max}}\right)\right]. \qquad (17)$$

A_1 kann aus der Beziehung zwischen v und v_r bestimmt werden, es folgt:

$$\left(r\frac{d\varphi}{dt}\right)^2 + v_r^2 = v^2$$

und

$$A_1 = \frac{d\varphi}{dt} = +\sqrt{\frac{v^2 - v_r^2}{r^2}}. \qquad (18)$$

Wenn r_{max} sowie v und r in einem Punkt der Bahn bekannt sind, kann die Bahn nach Gleichung (17) gezeichnet werden.

Die Doppler-Frequenz nach Gleichung (12) kann, wenn nur r_{max} bekannt ist, ebenfalls ermittelt werden.

Die Grenzwerte für den Pionier I sind

$$r_{max} = (127\,000 + 6370)\ \text{km},$$
$$v = 8133\ \text{km/h für } r = 77\,400\ \text{km}.$$

Nach dem Einsetzen in die Gleichungen (12), (17) und (18) erhält man

$$f = 108060 \pm 0{,}36\sqrt{\frac{796}{r} - 6} \qquad (19)$$

und

$$\varphi = \pm\,17{,}3\left[\frac{\pi}{2} + 2\sqrt{\frac{r}{133} = \left(\frac{r}{133}\right)^2} + \arcsin\left(1-\frac{2\,r}{133}\right)\right] \qquad (20)$$

sowie

$$t = 0{,}44\ \varphi, \qquad (21)$$

wobei f in kHz, φ in Graden, r in tausend km und t in Stunden gemessen wird.

Im Bild 7 ist f als Funktion der Zeit aufgetragen. Im Bild 8 ist die Bahn nach Gleichung (20) gezeichnet. Einige beobachtete Abstände und Zeiten sind für Vergleichszwecke mit dem Winkel φ nach Gleichung (21) eingezeichnet.

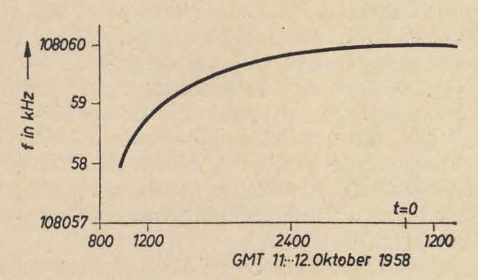


Bild 7: Die theoretische Dopplerkurve für den Pionier I

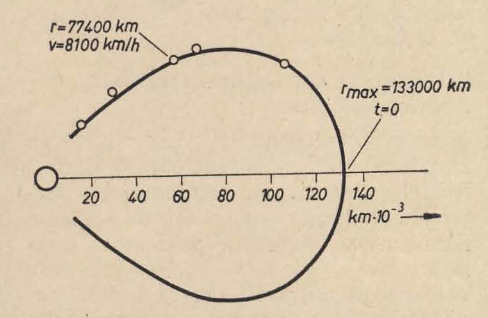


Bild 8: Die berechnete Bahn des Pionier I. Einige beobachtete Abstände und Zeiten mit den Winkeln nach Gleichung (21) sind für Vergleichszwecke eingezeichnet

An Bord des zweiten sowjetischen Sputniks befand sich die Eskimohündin Laika. Ihre wichtigsten Lebensfunktionen (Blutdruck, Atem- und Herzfrequenz) wurden auf den Sender des Satelliten übertragen und konnten so auf der Erde ausgewertet werden. Damit bestand zum ersten Male die Möglichkeit, die Wirkung eines länger andauernden schwerelosen Zustandes auf den lebenden Organismus zu untersuchen. Die Auswertung der registrierten Signale ergab, daß das Befinden der Hündin bis zu ihrem Vergiftungstode normal blieb

Für r = R wird nach Gleichung (11) v_r = 39 300 km/h, was die benötigte Anfangsgeschwindigkeit ist, um eine einstufige Rakete in die gezeichnete Bahn zu schießen, wenn die Erde keine Atmosphäre hätte. Bekanntlich wird eine Anfangsgeschwindigkeit von etwa 42 000 km/h in drei Stufen benötigt.

Gekürzter Beitrag aus den schwedischen Zeitschriften „Tele" 2 und 4 (1958)

Literatur

[1] Radio Observations of the Russian Earth Satellite, Proc. IRE, Nov. (1957) S. 1552

[2] Observation on the Orbit of the First Russian Earth Satellite. By the Staff of the Royal Aircraft Establishment, Farnborough. Nature, Nov. 9 (1957) S. 937

[3] Radio Observations of the Russian Earth Satellite, By the Staff of the Mullard Radio Astronomy Observatory, Cambridge. Nature, Nov. 2 (1957) S. 879

[4] Radio Observations of the Russian Satellits. Proc. Inst. El. Eng. March (1958) S. 81

O. RSHIGA und A. SCHACHOWSKOI

Ein Amateurempfänger zur Beobachtung der sowjetischen Erdsatelliten

Amateure waren es, die im Jahre 1923 entdeckten, daß sich Kurzwellen auf Grund der Reflexion an ionisierten Schichten der Ionosphäre für den Weitverkehr eignen. Ebenfalls Amateure wiesen in den letzten Jahren nach, daß man auch im UKW-Bereich Verbindungen über weite Entfernungen tätigen kann, und nicht zuletzt sind sie auch die ersten, die mit Fernsehüberreichweiten experimentieren.
Auch bei der Auswertung der Funksignale künstlicher Satelliten, die Aufschluß über unseren Planeten, über die Ionosphäre usw. geben, ist eine rege Mitarbeit der Amateure von großer Bedeutung, denn zahlreiche Beobachtungen und Aufzeichnungen sind für einwandfreie Rückschlüsse und Erkenntnisse erforderlich.
Um unseren Amateuren Hinweise für den Aufbau eines speziellen Gerätes zum Empfang der Signale künstlicher Satelliten zu geben, veröffentlichen wir im folgenden die Beschreibung eines solchen im Auftrage der sowjetischen Zeitschrift „Radio“ entwickelten Amateur-UKW-Empfängers. Wir möchten aber darauf hinweisen, daß dieser Beitrag nicht als Bauanleitung aufzufassen ist.

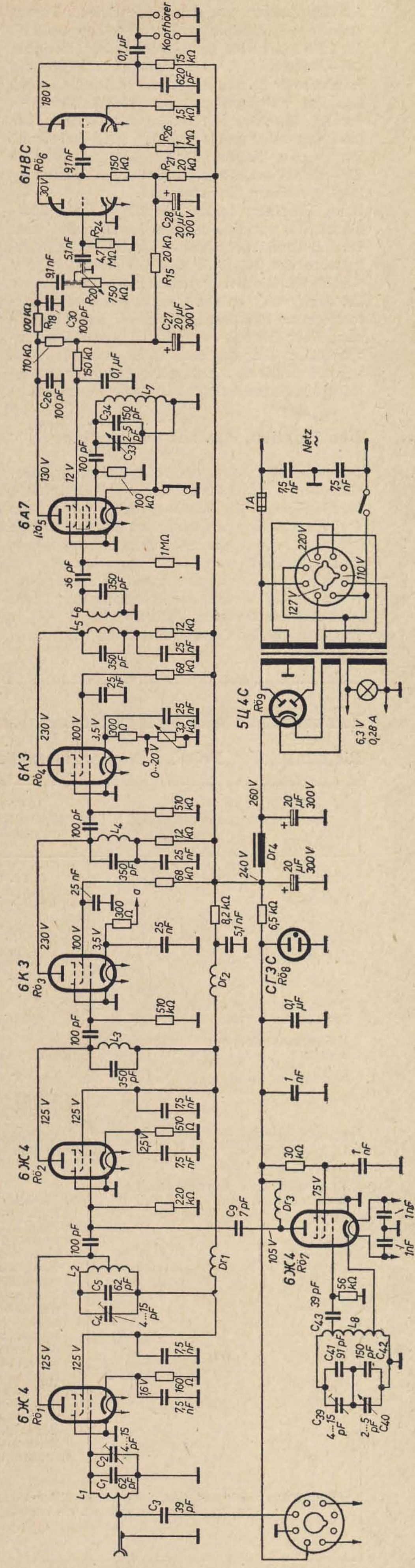
Ein Empfänger, der bei der Beobachtung eines künstlichen Erdsatelliten eingesetzt werden soll, muß sich durch hohe Trennschärfe, große Empfindlichkeit, hinreichende Oszillatorstabilität und ein geringes Eigenrauschen auszeichnen. Diese Grundforderungen müssen gestellt werden, da die Signalfeldstärke an der Empfangsantenne im günstigsten Fall einige Mikrovolt pro Meter nicht übersteigt.
Der Durchlaßbereich des Empfängers ist mit Rücksicht auf die durch den Dopplereffekt hervorgerufene Änderung der Signalfrequenz zu bestimmen. Die Empfangsfrequenz schwankt beispielsweise im 40-MHz-Band bei einer Bahngeschwindigkeit von 8 km/s um 2000 Hz (von Maximum zu Minimum), während das Signalspektrum nur einen Frequenzbereich von einigen Hertz einnimmt. Da auch die Instabilität des Oszillators zu berücksichtigen ist, muß der Durchlaßbereich des Empfängers also 6 bis 8 kHz betragen.
Im folgenden wird ein 9-Röhren-Super für das 40 MHz-Band beschrieben, bei dem das Auffinden eines Signals dadurch erleichtert wird, daß der kontinuierlich abstimmbare Frequenzbereich sehr klein ($\pm$ 50 kHz) und die Oszillatorstabilität groß ist.
Der Empfängereingang sieht den Anschluß eines 75-Ω-Koaxialkabels vor; am Empfängerausgang sollen hochohmige Kopfhörer angeschlossen werden. Als Empfangsantenne kann ein Halbwellendipol dienen, wie er im Beitrag von W. Dubrowin, „Peilvorsatzgerät für einen UKW-Empfänger“ beschrieben wird [„Radio“ 7 (1959) S. 21]. Ein Eichgenerator (Quarzgenerator), für den am Empfänger Steckverbindungen vorgesehen sind, kann als Abstimmhilfsmittel verwendet werden.
Zur Verbesserung der Spiegelfrequenzsicherheit arbeitet das Gerät mit einer ZF von 1600 kHz. Der Durchlaßbereich des ZF-Verstärkers liegt bei 8 kHz.
Die Empfindlichkeit des Empfängers beträgt (bei einem Signal/Rausch-Verhältnis am Ausgang von 3 : 1) mindestens 2 μV beim Empfang von modulierten Signalen oder 0,7 μV beim Empfang eines A_1-Signals.
Der Empfänger hat eine Leistungsaufnahme von 60 W und ist für den Betrieb an Wechselstromnetzen vorgesehen.

Schaltung

Der Eingangskreis wird durch einen einzelnen Schwingkreis gebildet, der aus der Induktivität L_1, den Kapazitäten C_1 und C_2 sowie der Röhreneingangskapazität besteht. Von diesem Schwingkreis gelangt das Signal an das Gitter der HF-Verstärkerröhre (Rö$_1$) 6 Ж 4 (entspricht der 6 AC 7). Die HF-Stufe mit der 6 Ж 4 zeichnet sich durch einen hohen Verstärkungsgrad bei geringem Eigenrauschen aus.
Der Anodenschwingkreis (L_2, C_4, C_5) wird, da das Gitter der nachfolgenden Röhre an einer Mittelanzapfung liegt, wenig bedämpft. Dadurch verbessert sich die Trennschärfe des HF-Verstärkers.
Sowohl der Anoden- als auch der Gitterschwingkreis sind auf Bandmitte abgestimmt (40 MHz). Die Mischstufe (Rö$_3$) arbeitet mit getrenntem Oszillator (Rö$_7$). Die Oszillatorröhre liegt an Anzapfungen der Spule L_8. Dadurch und durch die relativ große Schwingkreiskapazität werden Rückwirkungen der Röhre auf die Oszillatorfrequenz weitestgehend ausgeschaltet.
Aus der Schaltung ist ersichtlich, daß der Schwingkreis des Oszillators durch die Induktivität L_8, die Kondensatoren C_{39} bis C_{42} und durch die auf den Schwingkreis bezogene Röhreneingangskapazität gebildet wird. C_{39} und C_{41} dienen zum Abgleich der Stufe auf die mittlere Oszillatorfrequenz (41,6 MHz). Mit C_{40} erfolgt die kontinuierliche Abstimmung des Empfängers auf eine beliebige Frequenz innerhalb des Empfangsbereiches. Den Umfang des Empfangsbereiches bestimmt im wesentlichen C_{42}. Der Oszillator ist über eine kleine Kapazität (C_9) an die Mischstufe angekoppelt. Die Anodenspannung des Oszillators wird durch die Stabilisatorröhre Rö$_8$ konstant gehalten[1]. Die Daten der СГ-3 С entsprechen denen unserer StR 108/30. Allerdings handelt es sich bei der StR 108/30 um eine moderne Miniaturröhre, während die СГ-3 С einen Oktalsockel besitzt. Der HF-Verstärker, die Mischstufe und der Oszillator sind zu einem Baustein zusammengefaßt. Dadurch schließt man das Entstehen von Frequenzverwerfungen infolge mechanischer Verwindungen aus und erleichtert bekanntlich die Montage sowie den Abgleich des Empfängers.
Während in der ersten ZF-Stufe (Rö$_3$ — die 6 K 3 entspricht der 6 SK 7) — ebenso wie in der Mischstufe — Rö$_3$ — ein einkreisiges Filter als Anodenlast dient, wird in der zweiten ZF-Stufe (Rö$_4$) ein zweikreisiges Filter verwendet[2]. Die Kreise dieses Filters sind nahezu überkritisch gekoppelt. Im Katodenkreis der Röhren Rö$_3$ und Rö$_4$ liegt ein Potentiometer, mit dessen Hilfe man die negative Gittervorspannung beider Stufen verändern und somit die Verstärkung

[1]) Wenn nicht mit starken Netzspannungsschwankungen zu rechnen ist, kann die Stabilisatorröhre durch einen Widerstand von 6,5 kΩ und 4 W ersetzt werden

[2]) Die einkreisigen Filter können durch zweikreisige ersetzt werden. Das erschwert zwar den Abgleich des ZF-Verstärkers, verbessert aber wesentlich die Nachbarkanalselektion



des Empfängers vor dem Demodulator regeln kann. Die Demodulatorröhre 6 A 7 (entspricht der 6 SA 7) arbeitet im A_1-Betrieb gleichzeitig als CW-Überlagerer. Den Schwingkreis bilden die Induktivität L_7 und die Kondensatoren C_{33} und C_{34}. Das NF-Signal gelangt vom Anodenkreis der $Rö_5$ über das Filter C_{26}, R_{18}, C_{30} und über das Lautstärkepotentiometer (NF-Regelung) R_{20} an den Eingang des NF-Verstärkers. Das Ein- und Ausschalten des CW-Überlagerers erfolgt mit einem Kippschalter.
Beim Empfang tonmodulierter Signale übernimmt $Rö_6$ nur die Funktion des Demodulators. Im NF-Verstärker arbeiten die beiden Triodensysteme der $Rö_6$ (die 6 H 8 C entspricht der 6 SN 7 G). Die Gittervorspannung für das erste Triodensystem entsteht durch den Anlaufgitterstrom an R_{24}. Der $Rö_6$ wird die Anodenspannung über das RC-Filter R_{21}, C_{28} und dem Demodulator über das zusätzliche Glied R_{15}, C_{27} zugeführt. Die Gewinnung der Anodenspannung erfolgt in einem Netzgerät üblicher Bauweise.

Konstruktion, Bauteile und Montage

Das 360 × 170 × 65 mm³ große Chassis des Gerätes kann aus 1,5 mm starkem Aluminium-, Messing- oder Stahlblech gebogen werden. An der Vorderseite des Chassis ist die Frontplatte befestigt, durch die alle Bedienungselemente hindurchgeführt werden. An der Rückseite des Chassis befinden sich der Antenneneingang, der Netzanschluß sowie die Röhrenfassung zum Anschluß des Quarzoszillators.
Die Grundplatte des HF-Bausteins ($Rö_1$, $Rö_2$, $Rö_7$) ist aus 1,5 mm starkem Messingblech gefertigt und mit vier Ebonitisolatoren unter dem Chassis befestigt. Es empfiehlt sich, im HF-Baustein (besonders in der Oszillatorstufe) keramische Röhrenfassungen zu verwenden.

Die Spulen L_1, L_2 und L_8 bestehen aus je sieben Windungen versilberten Kupferdrahtes, 1,2 bis 1,5 mm ∅. Die Spulen werden auf einen im Durchmesser 8 mm starken Kern gewickelt und danach auf eine Länge von 18 mm gedehnt. Anzapfungen sind bei der Spule L_1 an der dritten Windung, bei der Spule L_2 in der Mitte und bei der Spule L_8 an der dritten und fünften Windung anzubringen (Windungsangaben gerechnet vom geerdeten Spulenende).

Der ZF-Verstärker ist mit Filterteilen und -abschirmungen des Empfängers „Rodina-52“ bestückt. Die Topfspulenkreise werden dadurch geöffnet, daß die Klebstellen mit etwas Spiritus angefeuchtet werden. Aus den drei Kammern der Spulenkörper für die Schwingkreise L_3 und L_6 wird der alte Draht entfernt und durch 36 Windungen Litzendraht (7 × 0,07) ersetzt (mit etwas schlechterem Erfolg läßt sich auch Lackdraht verwenden). Die Spule L_7 besteht aus 60 Windungen Lackdraht und besitzt an der 20. Windung eine Anzapfung. Die bewickelten Spulenkörper werden wieder in die Topfspulenkerne gesetzt und mit Klebstoff befestigt. Es lassen sich auch Originalfilter von Empfängern verwenden, die eine ZF von 1600 kHz haben.

Die Netzdrossel besitzt einen Kernquerschnitt von 7,5 cm². Als Wickelmaterial dient Lackdraht (0,2), der den Spulenkörper bis zum Rand füllt.

Die HF-Drosseln bestehen aus einer Schicht aneinanderliegender Windungen. Die Drosseln Dr_1 und Dr_2 (Draht 0,15) sind auf einen 6 mm starken und 80 mm langen Spulenkörper gewickelt. Die Anzapfung befindet sich in der Mitte. Als Spulenkörper für die Drossel Dr_3 dient ein 100-kΩ-Widerstand.

Beim Aufbau des HF-Bausteins muß auf eine rationelle Verteilung der Bauteile Wert gelegt werden, denn davon hängt im wesentlichen die Betriebstauglichkeit des Empfängers ab. Es ist darauf zu achten, daß der Baustein mechanisch fest aufgebaut wird und die Verdrahtung möglichst kurz ist.

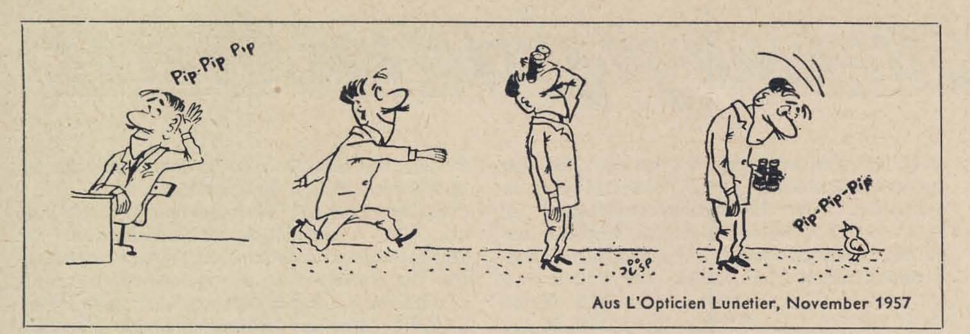
Um den Abgleich zu erleichtern, sind die Kondensatoren C_2, C_4 und C_{39} oberhalb der Bausteingrundplatte neben den Röhren angeordnet. Hierher sind auch Dr_1 und Dr_2 verlegt. Die Spulen L_1, L_2 und L_8 sind unmittelbar an den Anschlüssen der entsprechenden Kondensatoren befestigt, liegen aber unterhalb der Grundplatte. Alle Widerstände und Kondensatoren sind mit den Lötösen der Drehkondensatoren und der Röhrenfassungen verlötet. Lötösenleisten wurden nicht verwendet. Es empfiehlt sich als HF-Kondensatoren (besonders für C_1, C_5, C_{41}, C_{42} und C_{43}) keramische Ausführungen zu wählen. Jede Stufe besitzt gesondert einen Erdungspunkt, der in der Nähe der entsprechenden Röhrenfassung mit der Messinggrundplatte verbunden ist. Die Platte selbst ist an der Antenneneinführung und an noch einem Punkt mit dem Empfängerchassis verbunden. Die Heizleitungen sind verdrillt und nur an einer Stelle mit dem Chassis verlötet.

Zusammenstellung der Daten der künstlichen Erdsatelliten und Planeten des Internationalen Geophysikalisch

Die künstlichen Erdsatelliten des Internationalen Geophysikalischen Jahres

Bezeichnung des Satelliten	1957 α (Sputnik I) UdSSR	1957 β (Sputnik II) UdSSR	1958 α (Explorer I) USA	1958 β (Vanguard I) USA	1958 γ (Explorer III) USA	
Start	4. 10. 57	3. 11. 57	31. 1. 58	17. 3. 58	26. 3. 58	
Verglüht	4. 1. 58	14. 4. 58	noch auf Umlaufbahn	noch auf Umlaufbahn	28. 6. 58	noc
Masse in kg	83,6	503,3	9,6	1,48	9,6	
Perigäum in km	228	225	358	646	189	
Apogäum in km	947	1671	2517	3944	2784	
Umlaufszeit um die Erde zur Zeit des Startes in min	96,17	103,75	114,8	134,29	115,9	
Neigungswinkel der Flugbahn zum Äquator	65° 12′	65° 17′	33° 30′	34° 15′	33° 22′ 12″	
Anzahl der Sender	2	2	2	2	2	
Frequenzen	20,005 und 40,002 MHz	20,005 und 40,002 MHz	108,00 und 108,03 MHz	108,00 und 108,03 MHz	108,00 und 108,03 MHz	
Stromversorgung	Elektrochemische Elemente	Elektrochemische Elemente	Quecksilberbatterien	Quecksilberbatterien Sonnenbatterien	Quecksilberbatterien	Silber-Zin Quecksilb Sonnenba
Meßgeräte bzw. durchgeführte Messungen	1. Messungen der Sonnenstrahlung (Ultraviolett-, Röntgen- und Korpuskularstrahlung) 2. Messungen der Intensität und Zusammensetzung der kosmischen Strahlung 3. Messungen der Ionosphäre (Druck, Dichtigkeit, Zusammensetzung)	1. Beobachtungen am Versuchshund [Futtervorrat Einrichtung zur Aufrechterhaltung der Atmungsbedingungen Klimaanlage Temperatur- und Druckmessung Registrierung der Atmung, des Pulses und des Blutdrucks Aufnahme von Elektrokardiogrammen] 2. Messungen der Sonnenstrahlung (3 Fotoelektronenvervielfacher, Verstärker, Schaltgerät) 3. Messung der kosmischen Strahlung (Zählrohr)	Messungen 1. der Temperatur 2. der kosmischen Strahlungen 3. Registrierung des Anpralls von Mikro-Meteoriten	Temperaturmessungen	Messungen 1. der Temperatur 2. der kosmischen Strahlungen (Magnetband-Abruf) 3. Registrierung des Anpralls von Mikro-Meteoriten	1. Progra Steuer 2. Meßwe gungs aufges Überfl 3. Klimaa 4. Messun samme strahlu 5. Messu ren Sch 6. Messun dungen 7. Magnet erdmag 8. Messun senspel der Hä Ionen, usw. 9. Registr Intensi setzung 10. Registr Mikro-

Anmerkung: Die amerikanischen Satelliten vom Typ Score und Discoverer wurden in diese Tabelle nicht aufgenommen, da sie vorwiegend militärischen Zwecken dienen.



Aus L'Opticien Lunetier, November 1957

Im HF-Baustein sind die Heizleitungen auf der Grundplatte angeordnet. Sie werden durch Bohrungen oberhalb der 2. und 7. Lötöse der Röhrenfassungen an die Anschlüsse herangeführt.

Abgleich und Abstimmung des Empfängers

Die Stufen des Empfängers werden in der üblichen Reihenfolge abgeglichen.
Bei der Überprüfung der Betriebsspannungen ist zu beachten, daß die Spannungen an den Elektroden der $Rö_6$ bei eingeschaltetem CW-Überlagerer gemessen wurden. Bei ausgeschaltetem Überlagerer werden die Spannungen die im Schaltbild genannten Werte etwas überschreiten. Diese Tatsache kann dazu benutzt werden, festzustellen, ob der Überlagerer schwingt. Der Oszillator der Mischstufe des Empfängers kann auf Funktionstüchtigkeit geprüft werden, indem man die Induktivität L_8 gegen Erde kurzschließt. Dabei muß die Schirmgittergleichspannung absinken.
Die Ersteinstellung des CW-Überlagerers verbindet man mit dem ZF-Verstärkerabgleich. Zu diesem Zweck führt man dem ZF-Verstärker ein 1600-kHz-Prüfsignal zu und sucht, nachdem man den Rotor des Kondensators C_{33} in die Mittelstellung gedreht hat, durch Drehung des Abgleichkerns von L_7 den Punkt, an dem der Interferenzton die Nullstelle passiert.
Zum Endabgleich des ZF-Verstärkers führt man das Prüfsignal dem Antenneneingang zu. Danach werden alle Abgleichschrauben mit Klebstoff festgelegt.
Beim Vorabgleich des HF-Verstärkers ist es vorteilhaft, sich eines HF-Röhrenvoltmeters zu bedienen. Man legt den Ausgang des Meßsenders mit 40 MHz an den Empfängereingang und mißt die Gitterspannung von $Rö_2$. Durch Verstellen der Kondensatoren C_2 und C_4 sowie durch Dehnen oder Verkürzen der Spulen wird man die Schwingkreise immer so abgleichen können, daß das Röhrenvoltmeter ein Maximum anzeigt.
Der Endabgleich des HF-Verstärkers kann nur mit einem Quarzgenerator vorgenommen werden. Bei Meßsendern ist es in der Regel nicht möglich, die Frequenz des Prüfsignals mit der erforderlichen Genauigkeit einzustellen.
Das im Quarzgenerator erzeugte Prüfsignal gelangt über C_3 an den Empfängereingang. Der Skalenabgleich wird mit C_{39} vorgenommen. Danach stellt man mit Hilfe von C_2 und C_4 die Schwingkreise L_1, C_2, C_1 und L_2, C_4, C_6 auf die Sollfrequenz ein.
Um nicht auf eine der Sollfrequenz benachbarte Harmonische abzugleichen, empfiehlt es sich, zunächst mit einem HF-Prüfgenerator eine Vorbestimmung zu treffen. Die Betriebsspannungen für den Quarzgenerator werden dem Empfänger selbst entnommen. Zu diesem Zweck ist an der Chassisrückseite eine Röhrenfassung vorgesehen, die mit dem Netzgerät verbunden ist. Das Speisekabel des Quarzgenerators wird in entsprechender Reihenfolge mit den Kontakten eines passenden Röhrensockels verbunden. Einen der Sockelkontakte schließt man über ein Stück Koaxialkabel an den Generatorausgang an. Man kann das Prüfsignal auch unmittelbar über eine Kapazität von 5···10 pF an den Empfängereingang führen. Nach der Eichung mit Hilfe des Quarzgenerators ist der Empfängerabgleich abgeschlossen.

Aus „Radio" 7 (1957)

:hen Jahres

1958 δ (Sputnik III) UdSSR	1958 ε (Explorer IV) USA	1959 (Vanguard II) USA
15. 5. 58	26. 7. 58	17. 2. 59
›ch auf Umlaufbahn	noch auf Umlaufbahn	noch auf Umlaufbahn
1327	13	9,3
225	259	540
1880	2218	3310
105,05	113	90
65°	51°	?
1	2	1
20,005 MHz	108,00 und 109,03 MHz	108,00 MHz
ink-Akkumulatoren lberbatterien ›atterien	Quecksilberbatterien	Quecksilberbatterien Sonnenbatterien
ammierungsanlage zur rung der Meßgeräte ertspeicher- und Übertra- system (Übertragung der speicherten Daten beim liegen der Bodenstationen) anlage ng der Intensität und Zu- ensetzung der Sonnen- lung ng des Drucks in den obe- chichten der Atmosphäre ng elektrostatischer La- n etometer zur Messung des gnetischen Feldes ng der Ionosphäre (Mas- ektrometer zur Messung äufigkeitsverteilung von , sphärische Ionenfallen trierung und Messung der sität und Zusammen- ng der kosmischen Strahlen trierung des Anpralls von -Meteoren	Messung der kosmischen Korpuskularstrahlung (2 Geiger- und 2 Szintillationszähler)	Meteorologische Beobachtungen

Die künstlichen Planeten des Internationalen Geophysikalischen Jahres

Bezeichnung	Künstlicher Planet I (XXI. Parteitag) UdSSR	Künstlicher Planet II (Pioneer IV) USA
Start	2. 1. 59	3. 3. 59
Masse in kg	361,3	6
Größte Annäherung der Flugbahn an den Mond in km	5000···6000	59200
Perihel in Millionen km	146,4	146,45
Aphel in Millionen km	197,2	170
Umlaufzeit um die Sonne Sonne in Tagen	450	392
Anzahl der Sender	4	1
Frequenzen	19,993 MHz, 19,995 MHz 19,997 MHz, 183,6 MHz	960,05 MHz
Stromversorgung	Silber-Zink-Akkumulatoren Quecksilberbatterien	Quecksilberbatterie
Meßgeräte bzw. durchgeführte Messungen	1. Automatische Steuerung der Rakete 2. Fernsteuerung der Rakete 3. Temperatur und Druck innerhalb der Rakete 4. Magnetometer zur Messung der Magnetfelder der Erde und des Mondes 5. Messung der Gaskomponente der interplanetaren Substanz 6. Messung der Korpuskularstrahlung der Sonne 7. Messung der kosmischen Strahlungen a) Energie b) Photonen von mehr als 50000 eV (Röntgenstrahlen) c) Photonen von mehr als 500000 eV (γ-Strahlen) d) Teilchen von mehr als 5 MeV 8. Registrierung des Anpralls von Mikro-Meetoren	Zwei Zählrohre zur Messung der kosmischen Strahlung

Dr. J. TAUBENHEIM

Der Strahlungsgürtel um die Erde

In den Nachrichten, die im Laufe der letzten Zeit über die Ergebnisse der Experimente mit künstlichen Erdsatelliten und kosmischen Raketen bekannt geworden sind, ist häufig die Rede von einem „Strahlungsgürtel“ um die Erde. Hierunter ist eine Anhäufung von Elementarteilchen (wahrscheinlich Elektronen und Protonen) in der Umgebung der Erde zu verstehen. Diese Teilchen haben hohe Geschwindigkeiten, also hohe Bewegungsenergien, so daß mit Recht von einer Teilchenstrahlung gesprochen wird. Von den sowjetischen Forschern ist hierfür die Bezeichnung „Korpuskularstrahlung der Erde“ eingeführt worden; in den USA wird häufig auch der Name „Van-Allen-Strahlung“ benutzt, da diese Erscheinung in den USA zuerst von Prof. J. van Allen beschrieben wurde. Welcher Art ist nun dieser Teilchenstrahlungsgürtel und welche Bedeutung kommt ihm zu?

Ergebnisse der Beobachtungen

Bereits die Messungen des Sputnik III hatten gezeigt, daß außer der bereits bekannten kosmischen Teilchenstrahlung (auch Höhenstrahlung genannt) in größerem Abstand von der Erdoberfläche Zonen erhöhter Teilchenstrahlungsintensität angetroffen werden.

Unter „Intensität“ verstehen wir dabei die Anzahl der Teilchen, die pro Sekunde durch ein Raumelement mit dem Querschnitt 1 cm² (unabhängig von der Richtung) hindurchfliegen. Diese Anzahl (Teilchenfluß) ist nicht nur von der Teilchenmenge in 1 cm³ (Teilchendichte), sondern auch von der Geschwindigkeit der Teilchen abhängig. Die Eigenbewegung der Meßapparatur (Satellit oder Rakete) kann vernachlässigt werden, da sie um mehrere Größenordnungen kleiner als die Teilchengeschwindigkeit ist.

Eine Zone hoher Intensität wurde vom Sputnik III über den Äquatorgebieten der Erde gefunden, je eine weitere Zone in höheren nördlichen und südlichen Breiten, die den Polarlichtzonen der Erde benachbart sind. Der amerikanische Satellit Explorer IV stellte ebenfalls die äquatoriale Zone erhöhter Teilchenstrahlung fest, seine Bahn erreichte nicht die beiden polaren Zonen.

Da die Gipfelhöhen der Satelliten nicht wesentlich über 2000 km Abstand von der Erdoberfläche lagen, konnte die wirkliche Form und Ausdehnung der Teilchenstrahlungsgürtel erst durch kosmische Raketen ermittelt werden, deren Bahn über die unmittelbare Umgebung der Erde hinaus vorstieß.

Die Ergebnisse zweier solcher Experimente sind bisher veröffentlicht worden, und zwar die Messungen der sowjetischen Rakete „XXI. Parteitag“, die am 2. Januar 1959 gestartet wurde [1] und die Messungen der USA-Rakete „Pioneer III“, die am 7. Dezember 1958 nach Erreichung einer Maximalentfernung von 108700 km wieder auf die Erde zurückstürzte [2]. Beide Raketen waren mit je zwei Geiger-Müller-Zählrohren ausgerüstet, mit denen die Gesamtzahl der Teilchen gemessen wurde, die pro Sekunde auf die Apparatur auftrafen. Die sowjetische Rakete enthielt außerdem noch zwei Szintillationszähler (NaJ-Kristall), mit denen die Teilchen gestaffelt nach gewissen Schwellenwerten ihrer Energie gezählt wurden. Das zeitliche Auflösungsvermögen aller dieser Geräte gestattete die Zählung bis zu 10000 Teilchen in 1 s. Die Flugbahnen beider Raketen sind im Bild 1 eingezeichnet. Da die Meßgeräte der USA-Rakete sowohl auf dem Hinflug als auch auf dem Rückflug arbeiteten, stehen uns insgesamt drei Meßprofile durch die Teilchengürtel hindurch zur Verfügung. (Das Meßprofil der sowjetischen Rakete ist im Bild 2 dargestellt). Das erlaubt uns schon, unter Zuhilfenahme einiger theoretischer Überlegungen, ein grobes Bild der Intensitätsverteilung der Teilchenstrahlung zu entwerfen. Diese Intensitätsverteilung ist im Bild 1 durch verschieden starke Schraffur angedeutet. Als Maßeinheit für den Abstand vom Erdmittelpunkt ist dabei der Erdradius (6370 km) gewählt. Wir sehen einen äußeren und einen inneren Gürtel hoher Intensität. In der Äquatorebene hat der innere Gürtel etwa 1,5 Erdradien (9000 km), der äußere Gürtel etwa 4 bis 5 Erdradien (25000 bis 35000 km) Abstand vom Mittelpunkt der Erde. In etwa 10 Erdradien (60000 km) Entfernung ist die äußere Grenze der Teilchenstrahlung anzusetzen. Die Zonen hoher Strahlungsintensität haben eine gekrümmte Form, die der Richtung der Kraftlinien des Erdmagnetfeldes entspricht. Dabei zeigt sich, daß die von Sputnik III festgestellten zwei „polaren“ Strahlungszonen in Wirklichkeit die Ausläufer oder „Hörner“ des einen äußeren Strahlungsgürtels sind.

Betrachten wir die Intensitätsverteilung entlang einer erdmagnetischen Kraftlinie, die durch einen Strahlungsgürtel läuft, so ist die Intensität am größten in der Äquatorebene. Die Intensität nimmt ab, wenn wir uns entlang der Kraftlinie in nördlicher oder südlicher Richtung auf die Hörner der Strahlungszone zu bewegen, womit gleichzeitig eine Annäherung an die Erdoberfläche verbunden ist (denn jede magnetische Kraftlinie durchstößt schließlich die Erdoberfläche). An der Spitze eines „Horns“ des äußeren Gürtels, etwa 400 km über der Erdoberfläche, beträgt der Teilchenfluß durch 1 cm² nur noch ein Tausendstel des Teilchenflusses im Maximum des Gürtels, also in der Äquatorebene, 25000 km über der Erdoberfläche.

Angaben über die Energien der Teilchen sind aus den Szintillationszählermessungen der sowjetischen kosmischen Rakete zu entnehmen, die für verschiedene Energieschwellen unterschiedliche Zählraten ergaben. Unter „Energie“ ist hierbei die reine Bewegungsenergie jedes Einzelteilchens zu verstehen, die mit der Geschwindigkeit der Teilchen wächst und nicht mit dem anfangs eingeführten Begriff der Intensität verwechselt werden darf, in dem noch die Menge der Teilchen enthalten ist. Die Energie der Teilchen ist maßgebend für ihre Fähigkeit, feste Körper (z. B. die Wände einer Rakete) zu durchdringen. Die Zählwerte (Anzahl pro Sekunde) der Szintillationszähler für verschiedene Energieschwellen sind im Bild 2 in Abhängigkeit von der Entfernung vom Erdmittelpunkt dargestellt. Ihre vorläufige Auswertung ergab, daß im äußeren Strahlungsgürtel Teilchen mit Energien zwischen 25 und 100 keV¹) den überwiegenden Anteil ausmachen. Der innere Teilchenstrahlungsgürtel wurde von der sowjetischen Rakete nicht berührt. Aus den Satellitenmessungen scheint jedoch hervorzugehen, daß die Teilchen des inneren Gürtels im Durchschnitt

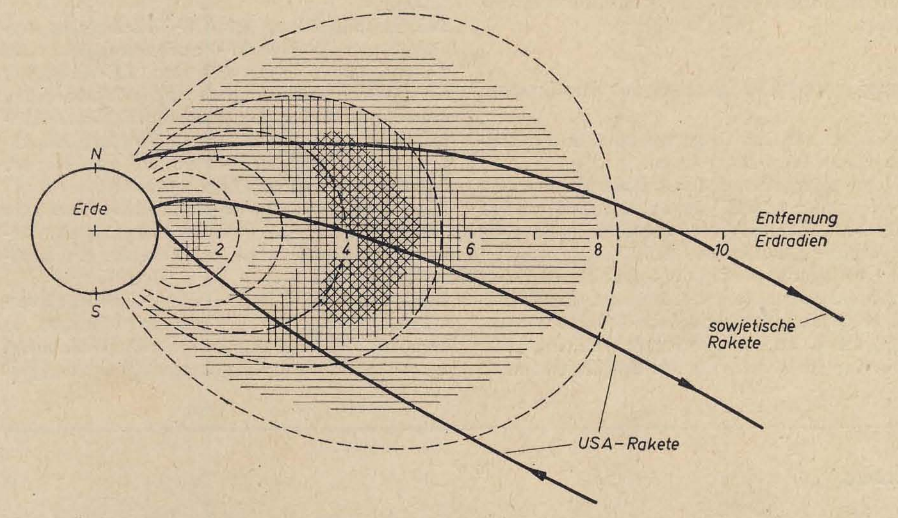


Bild 1: Flugbahnen der sowjetischen kosmischen Rakete und der USA-Rakete „Pioneer III“ sowie Zonen erhöhter Teilchenstrahlung (schraffiert). Gestrichelte Linien: Kraftlinien des Erdmagnetfeldes

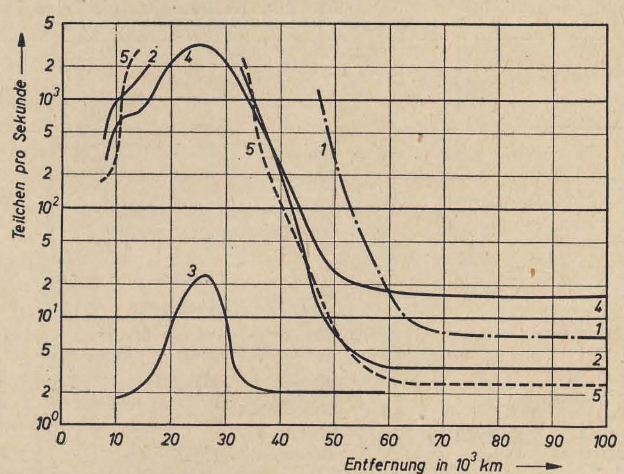


Bild 2: Meßergebnisse der Zählapparaturen in der sowjetischen kosmischen Rakete. Kurve 5: Geiger-Müller-Zählrohre, Kurven 1 bis 4: Szintillationszähler bei verschiedenen Energieschwellen (Kurve 1: 45 keV, Kurve 2: 450 keV, Kurve 3: 4,5 MeV, Kurve 4: Gesamtionisation)

¹) 1 eV (Elektronenvolt) ist die Bewegungsenergie, die ein Elektron beim Durchlaufen einer Potentialdifferenz von 1 V aufnimmt. 1 keV = 10³ eV; 1 MeV = 10⁶ eV. Beispiel: Röntgenstrahlen für die medizinische Diagnostik werden von Elektronen erzeugt, die mit Energien von 50 bis 100 keV auf die Antikatode auftreffen.

Energien haben, die um ein Mehrfaches größer sind als im äußeren Gürtel.

Entstehung des Teilchengürtels

Die eigenartige Form der Teilchenstrahlungsgürtel kommt folgendermaßen zustande: Bewegt sich ein elektrisch geladenes Teilchen (und aus solchen werden ja die Gürtel gebildet) in einem Magnetfeld, so wird es durch dieses Feld zu einer schraubenförmigen Bewegung gezwungen, die sich um eine magnetische Kraftlinie windet. Die Achse der Schraube ist also eine Kraftlinie des Magnetfeldes, ihr Durchmesser und ihre Ganghöhe hängen von der Bewegungsenergie und der anfänglichen Bewegungsrichtung des Teilchens ab. Bewegt sich das Teilchen in einem inhomogenen Magnetfeld, beispielsweise einem Dipolfeld, so wird seine Bewegung in Richtung der Kraftlinie abgebremst, wenn die Feldstärke zunimmt (im Dipolfeld bei Annäherung an einen Pol). Das wirkt sich so aus, daß die Ganghöhe der Schraubenlinie immer kleiner wird, bis irgendwo schließlich die Bewegung rückläufig wird. Das Teilchen „wendet" also und bewegt sich an derselben Kraftlinie entlang in umgekehrter Richtung, im Dipolfeld auf den anderen Pol zu, bis wieder der gleiche Vorgang des „Wendens" eintritt. Dabei bleibt das Teilchen für alle Zeiten an eine magnetische Kraftlinie gebunden (Bild 3).
Ein magnetisches Dipolfeld stellt somit für elektrisch geladene Teilchen eine „magnetische Falle" dar, aus der sie nicht entkommen können. Sie führen vielmehr ständig eine schwingende Bewegung entlang der Kraftlinien zwischen ihren beiden „Wendepunkten" aus. Das Magnetfeld der Erde ist angenähert ein solches Dipolfeld, in dem die Teilchen der Strahlungsgürtel eingefangen sind. Die den magnetischen Kraftlinien entsprechende gekrümmte Form der Strahlungsgürtel ist daher sofort verständlich. Für eine Schwingung zwischen den nördlichen und südlichen „Wendepunkten" ihrer Bewegung benötigen die Teilchen nicht mehr als einige Sekunden oder sogar nur Bruchteile von Sekunden.
Nehmen wir an, daß die Bewegungsrichtungen der Teilchen anfangs völlig zufällig sind, dann wird es einerseits Teilchen geben, die weit nach Norden und Süden vorstoßen können, deren „Wendepunkte" also weit von der Äquatorebene entfernt sind. Andererseits wird es Teilchen geben, deren „Wendepunkte" nahe an der Äquatorebene liegen, deren Schwingungsstrecke somit nur kurz ist. Alle Teilchen aber müssen die Äquatorebene durchqueren, während nur ein geringer Teil davon bis in hohe nördliche oder südliche Breiten gelangt. So erklärt sich, daß der Teilchenfluß sein Maximum in der Nähe der Äquatorebene haben muß.
Die natürliche Streuung der Teilchengeschwindigkeiten und die unregelmäßigen zeitlichen und örtlichen Abweichungen des Erdfeldes vom idealen Dipolfeld sorgen dafür, daß die Intensität der Teilchenstrahlung über einen ganzen Raumbereich kontinuierlich „verschmiert" ist.
Die Entstehung zweier getrennter Gürtel folgt dagegen nicht einfach aus den Gesetzen der Teilchenbewegung im Magnetfeld. Es ist zu vermuten, daß diese Trennung auf zwei verschiedene Arten von Teilchen, besonders ihrer Herkunft nach, zurückzuführen ist.

Herkunft der Teilchen

Die Frage nach der Herkunft der Teilchen ist eng verbunden mit der Frage, wie die Teilchen in die „magnetische Falle" hineingelangen. Denn wenn elektrisch geladene Teilchen nicht aus dem Magnetfeld entkommen können, dann ist es auch schwer zu erklären, wie solche Teilchen in das Feld eindringen können.
Von den sowjetischen Forschern Wernow, Tschudakow u. a. [3] ist folgende Vorstellung entwickelt worden: Aus dem Weltraum dringen ständig Teilchen in die Erdatmosphäre ein, die eine so hohe Bewegungsenergie haben, daß ihre Flugbahn nur geringfügig durch das Magnetfeld der Erde beeinflußt wird. Diese Teilchen sind als „kosmische Strahlung" bereits seit Jahrzehnten bekannt. Beim Zusammenstoß mit den Atomen der Erdatmosphäre ruft die kosmische Strahlung Atomkernprozesse hervor, bei denen Neutronen freigesetzt werden. Diese Neutronen können, da sie keine elektrische Ladung haben, ungehindert durch das Magnetfeld der Erde wandern, zum Teil also auch in den Raum in der Umgebung der Erde. Auf ihrem Wege zerfallen aber auch diese Neutronen, wobei Protonen und Elektronen entstehen, also elektrisch geladene Teilchen, die in der magnetischen Falle eingefangen werden. Bei dieser Theorie entstehen also die Teilchen der Strahlungsgürtel innerhalb der magnetischen Falle selbst. Bisher ist es allerdings nicht gelungen, die quantitativen Ergebnisse dieser Theorie in Übereinstimmung mit den Messungen zu bringen. Das liegt daran, daß unter gewissen Bedingungen ein Entweichen von Teilchen aus der magnetischen Falle möglich ist, dessen Umfang schwer abzuschätzen ist.
Eine andere Theorie ist von dem Amerikaner T. Gold aufgestellt worden [4]. Bei Ausbrüchen auf der Sonne werden Wolken von Materie in den Weltraum hinausgeschleudert, die auch die Erde erreichen können und hier bekanntlich Polarlichter, magnetische Stürme und Störungen der Ionosphäre hervorrufen. Diese Tatsache zeigt bereits, daß elektrisch geladene Teilchen, wie sie von der Sonne herkommen, auch in das Magnetfeld der Erde eindringen können. Gold hat die Bedingungen festgestellt, unter denen ein solches Eindringen von außen her möglich ist. Das sind vor allem rasche und lokal eng begrenzte Schwankungen des Magnetfeldes. Sind auf solche Weise erst einmal Teilchen in die magnetische Falle hineingeraten, dann können sie mehrere Wochen oder Monate dort eingefangen bleiben, bis inzwischen durch neue Ausbrüche der Sonne Nachschub herangeführt ist.
Welcher der beiden Mechanismen für die Herkunft der Teilchen in den Strahlungsgürteln verantwortlich ist, kann wahrscheinlich erst entschieden werden, wenn durch zahlreiche Raketenaufstiege die zeitlichen Veränderungen der Strahlungsgürtel, im Vergleich mit etwaigen Vorgängen auf der Sonne, erfaßt worden sind. Es ist möglich, daß beide Entstehungsursachen wirksam sind, und zwar für den inneren Gürtel der Zerfall von Neutronen, für den äußeren Gürtel die Herkunft von der Sonne.

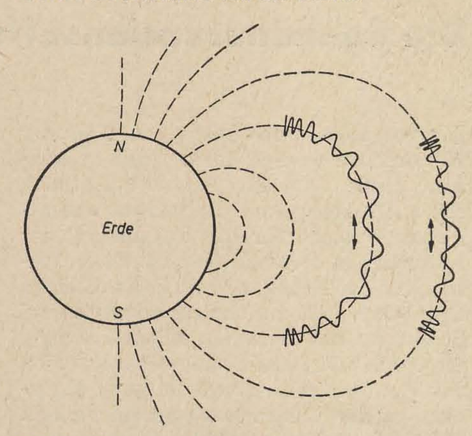


Bild 3: Bahnen elektrisch geladener Teilchen im Magnetfeld der Erde (Schraubenform stark übertrieben)

Bedeutung der Strahlungsgürtel

Die Erforschung der Teilchenstrahlung in der Umgebung der Erde ist natürlich von großer Wichtigkeit für die zukünftige bemannte Weltraumfahrt, die sich durch ausreichende Abschirmung vor den biologischen Wirkungen der Strahlung schützen muß. Aus den hier beschriebenen Überlegungen folgt aber auch, daß die Untersuchung der Teilchengürtel wesentliche Fortschritte in der Erklärung der Vorgänge bei Polarlichtern und den damit verbundenen Ionosphärenstörungen bringen wird, die für den Funkverkehr auf der Erde von einschneidender Bedeutung sind. An dieser Stelle greifen die Forschungsergebnisse des beginnenden Zeitalters der Weltraumforschung wiederum unmittelbar in praktische Fragen des modernen Lebens ein.

Literatur

[1] S. N. Wernow, A. E. Tschudakow, P. W. Wakulow und J. I. Logatschew: Untersuchung der Korpuskularstrahlung der Erde und der kosmischen Strahlung beim Flug der kosmischen Rakete; Doklady Akademii Nauk SSSR, Bd. 125 (11. April 1959) S. 304
[2] J. A. van Allen und L. A. Frank: Radiation around the earth to a radial distance of 107400 km; Nature, Bd. 183 (14. Februar 1959) S. 430 bis 434
[3] S. N. Wernow, N. L. Grigorow, I. P. Iwanenko, A. I. Lebedinskij, W. S. Mursin und A. E. Tschudakow: Ein möglicher Entstehungsmechanismus der Korpuskularstrahlung der Erde unter Einwirkung der kosmischen Strahlung; Doklady Akademii Nauk SSSR, Bd. 124 (11. Februar 1959) S. 1022
[4] T. Gold: Origin of the radiation near the earth discovered by means of satellites; Nature, Bd. 183 (7. Februar 1959) S. 355

Die Planeten unseres Sonnensystems

Name	Entfernung von der Erde in 10^6 km	mittlerer Durchmesser in 10^3 km	mittlere Laufzeit eines Signals in min	vermutliche Atmosphäre	maximale Oberflächentemperatur in °C	Umlaufzeit
Merkur	77··· 222	4,8	8	—	+ 400	88 Tage
Venus	39··· 260	12,2	8	CO_2	+ 94	225 Tage
Erde		12,8	—	—	+ 60	1 Jahr
Mars	57··· 401	6,8	13	H_2O, CO_2, N_2	+ 30	687 Tage
Jupiter	590··· 971	143	45	CH_4, NH_3, H_2, He	— 129	11,9 Jahre
Saturn	1180···1660	121	72	CH_4, NH_3, H_2, He	— 152	29,5 Jahre
Uranus	2600···3160	50	160	CH_4, NH_3, H_2, He	— 168	84 Jahre
Neptun	4320···4700	53	250	CH_4, NH_3, H_2, He	— 200	165 Jahre
Pluto	4260···7750	5,8?	330	—	— 223	248 Jahre

Dr. K. H. SCHMELOVSKY, Observatorium für Ionosphärenforschung, Kühlungsborn

Die Sonneneruptionseffekte in der tiefen Ionosphäre

Die Vorgänge in den hohen Schichten der Atmosphäre werden bekanntlich in starkem Maße von der Sonne beeinflußt, deren Strahlung auch die weitaus wesentlichste Ursache für die Entstehung der Ionisation in diesen Höhen ist. Diese Verknüpfung zwischen solarem und irdischem Geschehen tritt am eindrucksvollsten bei Störungen des normalen Ablaufs zutage, die durch plötzliche und aus dem Rahmen des Gewöhnlichen hervortretende Ereignisse auf der Sonne hervorgerufen werden. Die Sonne ist kein ruhiger Gasball, sondern ihre Materie befindet sich in einer ständigen turbulenten Bewegung, die sich auf ihrer Oberfläche durch die Sonnenflecken, durch plötzliche Ausbrüche von Strahlung und durch Ausschleudern großer Ströme von materiellen Teilchen bemerkbar macht. Alle diese Erscheinungen sind miteinander verknüpft. Ihre Beobachtung und die ihrer Auswirkung auf die Ionosphäre sind für die Funkpraxis von zwei Seiten her von Bedeutung. Zunächst einmal haben diese Erscheinungen einen direkten Einfluß auf die Funkverkehrsbedingungen. Auf die Auswirkungen der solaren Strahlungsausbrüche für den Kurzwellenverkehr, die sog. Mögel-Dellinger-Effekte, wird weiter unten eingegangen. Hier möchte ich nur erwähnen, daß durch den Einfall solarer Materie in die Erdatmosphäre sehr schwerwiegende Störungen des Aufbaus der F-Schicht eintreten. Derartige Ionosphärenstürme, die mit magnetischen Stürmen verknüpft sind, äußern sich durch ein Absinken der Grenzfrequenz, wodurch das benutzbare Frequenzband stark eingeengt wird. Da die Korpuskeln im Gegensatz zur Strahlung einige Zeit benötigen, um von der Sonne bis zur Erde zu gelangen, kann man die Beobachtung der Strahlungsausbrüche zur Vorwarnung benutzen[1]). Es ist natürlich nicht so, daß jeder Strahlungsausbruch, der zu einem Effekt in der tiefen Ionosphäre führt, auch einen Ionosphärensturm nach sich zieht, da erstens nicht jeder mit einer Ausschleuderung von Materie verbunden ist, und es außerdem von der Lage auf der Sonne abhängt, ob der Materiestrom die Erde trifft. Hier müssen sich optische, radioastronomische und Methoden der Ionosphärenforschung zweckmäßig ergänzen. Daneben geben diese Vorgänge auch Aufschlüsse über den Aufbau der Ionosphärenschichten, in denen sie sich abspielen. Die genauere Kenntnis dieser Schichten kommt aber letzten Endes auch wieder der Funkpraxis zugute.

Die Sonneneruptionseffekte, deren Auswirkungen hier beschrieben werden sollen, finden in der Chromosphäre der Sonne statt, also in der Schicht direkt oberhalb der Höhe, aus der der überwiegende Anteil des sichtbaren Lichtes stammt. Diese Strahlungsausbrüche bedecken verhältnismäßig kleine Gebiete der Sonnenscheibe, die flächenmäßig zwischen 40 und 4000 Millionstel der Gesamtfläche betragen. Ihre Dauer liegt zwischen einigen Minuten und etwas über einer Stunde (selten mehr), wobei einem raschen Anstieg ein langsamer Abfall folgt. Sie sind eng mit den Sonnenflecken verknüpft. Man hat festgestellt, daß besonders junge, im Entstehen begriffene Sonnenfleckengruppen, eine große Aktivität zeigen. Im sichtbaren Spektralgebiet ist ihre Intensität, verglichen mit der normalen Sonnenstrahlung, gering. Nur besonders große und günstig (am Sonnenrand) gelegene Eruptionen können im weißen Licht beobachtet werden. Für die visuelle Beobachtung ist sonst die Aussonderung einer Spektrallinie, der Wasserstofflinie H_α, die von ihnen besonders stark ausgestrahlt wird, durch Spektroheliografen notwendig. Für die ionosphärischen Effekte sind jedoch nicht die Linien im Sichtbaren, sondern wesentlich kurzwelligere Anteile verantwortlich, da sichtbares Licht nicht die zur Ionisation notwendige Quantenenergie besitzt. Es steht im einzelnen noch nicht ganz fest, welche Spektrallinien hierbei wirksam sind. In Frage kommt hierfür die im kurzwelligen Ultraviolett gelegene Wasserstofflinie Lyman α. Nach neueren Forschungen erscheint es jedoch wahrscheinlich, daß noch kurzwelligere Anteile, die z. T. sogar im Gebiet der Röntgenstrahlung liegen, wesentlich sind. Die Untersuchungen hierüber werden dadurch erschwert, daß diese Strahlung von der Atmosphäre völlig absorbiert wird, und eine direkte Beobachtung vom Erdboden aus nicht möglich ist. Die niedrigste Höhe, bis zu der diese Strahlung vordringt, beträgt etwa 60 bis 70 km (Lyman α wurde z. B. in 74 km Höhe mit Raketenmessungen noch sicher nachgewiesen). Fest steht, daß die Intensität einer chromosphärischen Eruption hier wesentlich höher ist als im Sichtbaren, so daß trotz des geringeren Flächenanteils die Gesamtintensität der ionisierenden Strahlung sehr wesentlich, z. T. sogar auf das Mehrfache ansteigen kann. Da nun die D-Schicht in ihrem Aufbau ziemlich unverzögert dieser Intensität folgt, was unter anderem aus der Tatsache hervorgeht, daß sie nachts verschwindet, und ihre Stärke am Tage annähernd eine reine Funktion des Sonnenstandes ist, bildet sich fast gleichzeitig mit dem Strahlungsausbruch eine verstärkte D-Schicht-Ionisation. Um deren Auswirkungen auf den Funkverkehr verständlich zu machen, lassen Sie mich zunächst einiges über den Aufbau und die Eigenschaften der D-Schicht sagen.

Sie befindet sich in etwa 70···90 km Höhe und besitzt nur eine geringe Elektronenkonzentration, die nicht ausreicht, um Mittel- oder Kurzwellen zu reflektieren. Für den Funkverkehr würde sie also von geringer Bedeutung sein, wenn sie nicht eine andere Eigenschaft hätte, die mit ihrer verhältnismäßig geringen Höhe zusammenhängt. Die Luftdichte ist hier nämlich noch relativ groß, so daß Elektronen bei ihrer Bewegung häufig mit Luftmolekülen zusammenstoßen. Fällt nun eine elektromagnetische Welle in ein derartiges Medium ein, so werden die Elektronen in geordnete Bewegung versetzt. Bei den Zusammenstößen wird diese geordnete Bewegung in eine statistisch ungeordnete, also in Wärme, umgesetzt. Während bei geringen Stoßverlusten nur ein ständiger Energieaustausch zwischen den beschleunigten Elektronen, die ja ihrerseits wieder zurückstrahlen, und der Welle stattfindet, wird ihr in unserem Fall ständig Energie entzogen und dadurch gedämpft. Man kann zeigen, daß sich ein ionisiertes Medium mit geringer Stoßzahl wie ein verlustfreies Dielektrikum mit einer Dielektrizitätskonstante, die kleiner ist als 1, verhält, während ein Medium mit Stoßverlusten eine zusätzliche geringe Leitfähigkeit besitzt. Kürzere Wellen durchlaufen nun die D-Schicht und werden in einer höheren Schicht totalreflektiert. Bei ihrem Durchgang erfahren sie eine Dämpfung, die mit zunehmender Frequenz abnimmt, im übrigen mit der Länge des durchlaufenden Weges in der D-Schicht, mit der Elektronenkonzentration und mit der Stoßzahl zunimmt. Für die Lang- und besonders die Längstwellen herrschen kompliziertere Reflexionsverhältnisse an einem leitenden Medium, dessen Leitfähigkeit mit der Höhe zunimmt. Die Dämpfung hängt dann von der Eindringtiefe der Welle in die Schicht ab. Ihre Änderung mit der Frequenz und der Schichtdicke kann nicht mehr so summarisch beschrieben werden, sie hängt dann von der Form der Schicht, insbesondere von der Steilheit des Anstiegs am Unterrand, ab. Dies sollte vorausgeschickt werden, um späterhin die verschiedenartigen und zunächst widersprüchlich scheinenden Auswirkungen der Sonneneruptionseffekte in den einzelnen Frequenzgebieten verständlich zu machen.

Die wichtigste und daher zuerst beobachtete Auswirkung ist der sogenannte Kurzschwund oder Mögel-Dellinger-Effekt. Er macht sich durch das plötzliche Absinken der Feldstärke auf allen Kurzwellenverbindungen der sonnebeschienenen Hemisphäre bemerkbar. Der Feldstärkeabfall ist oft so groß, daß die Verbindung völlig unterbrochen wird. Nach einer gewissen Zeit, die von der Dauer und der Stärke der Eruption abhängt und, wie bei allen hier besprochenen Effekten, ungefähr mit deren Länge übereinstimmt, steigt dann die Feldstärke zwar rasch, aber im allgemeinen nicht so schnell wie

---

[1]) Siehe P. Glöde „Radarechos von Polarlichtern" S. 415

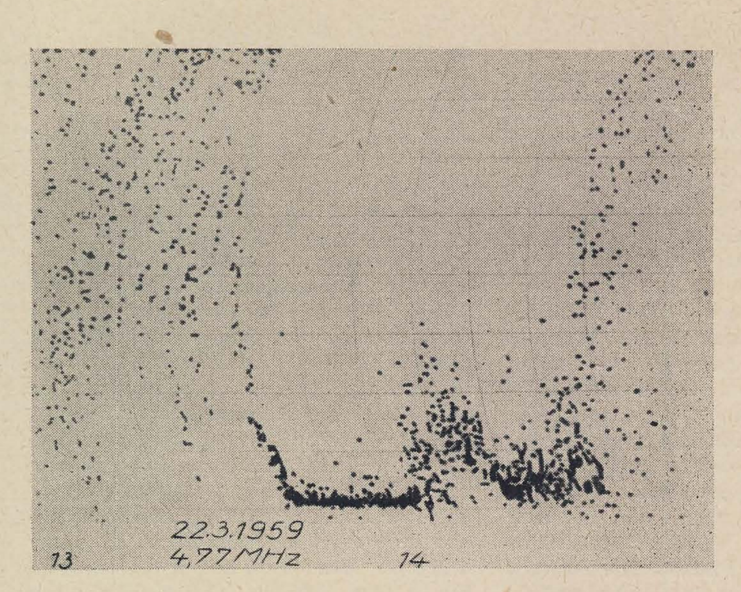


Bild 1: Mögel-Dellinger-Effekt auf Kurzwelle

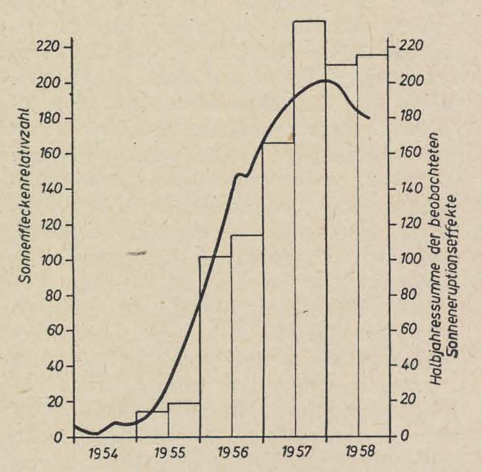


Bild 2: Zusammenhang der Anzahl der Sonneneruptionseffekte mit Sonnenfleckenrelativzahl. Gezeigt wird die jeweilige Gesamtzahl der Effekte während eines Halbjahres (Säulendarstellung) und das gleitende Mittel über 12 Monate der Sonnenfleckenrelativzahl (Kurve)

sie abgefallen ist, wieder an. Im Bild 1 wird ein derartiger Effekt gezeigt. Der MD-Effekt wurde 1930 von H. Mögel erkannt. Einige Jahre später deckte dann H. Dellinger seine Ursachen durch eingehende statistische Untersuchungen auf. Inzwischen sind diese Zusammenhänge durch zahlreiche weitere Untersuchungen bestätigt worden. Als ein Beispiel für den Zusammenhang zwischen Sonnenaktivität und Sonneneruptionseffekten soll Bild 2 dienen. Diese Effekte beruhen auf der verstärkten Absorption der für den Kurzwellenverkehr allein wesentlichen Raumwelle beim Durchlaufen der verstärkten D-Schicht, wobei außer der Tatsache, daß die Elektronenkonzentration zunimmt, auch das Absinken des Unterrandes in Gebiete höherer Luftdichte — also größerer Stoßzahl — zu der Erhöhung der Dämpfung beiträgt. An den Reflexionsverhältnissen in den höheren Schichten scheint sich hierbei wenig zu ändern, obwohl auch eine Verstärkung der E-Schicht nachweisbar ist. Wegen der Frequenzabhängigkeit der Durchgangsdämpfung nimmt der Einfluß dieser Effekte innerhalb des Kurzwellenbandes mit steigender Frequenz im allgemeinen ab und ist im 10-m-Band nur noch schwach ausgeprägt. Es gibt also gewisse Möglichkeiten, ihren störenden Wirkungen auszuweichen. Auf Grund ihrer Entstehungsweise können sie natürlich nur auftreten, wenn wenigstens ein Teil der Ausbreitungsstrecke im sonnenbeschienenen Gebiet liegt. Außer derartigen typischen MD-Effekten treten gelegentlich auch solche mit langsamen oder stufenförmigen Einsatz ein. Die Letzteren sind wahrscheinlich auf mehrere kurz hintereinander folgende solare Strahlungsstöße zurückzuführen. Auch auf Mittel- und Langwellen ist eine analoge Erscheinung zu beobachten. Da die Raumwelle hier aber am Tage sowieso nur schwach ist und im Versorgungsgebiet des Senders keine Bedeutung für das Empfangsfeld hat, können diese Effekte nur mit empfindlichen Spezialempfängern, bei denen die Bodenwelle durch einen Peilrahmen ausgeblendet wird, nachgewiesen werden. Für die Funkpraxis haben sie keine unmittelbare Bedeutung.

Ganz anders wirken sich die Sonneneruptionseffekte im Längstwellengebiet, d. h. auf den Frequenzen unterhalb von etwa 50 kHz aus. Diese Frequenzen werden am Tage bereits in den unteren Teilen der D-Schicht reflektiert. Bei einem Effekt wird nun offenbar der Unterrand der Schicht schärfer ausgebildet, so daß die Eindringtiefe abnimmt. Als Ergebnis zeigt sich ein plötzlicher Anstieg der Feldstärke. Der zeitliche Verlauf ist ähnlich wie bei den MD-Effekten, nur mit entgegengesetztem Vorzeichen in der Feldstärke (Bild 3). Zur Beobachtung der Ausbreitungsverhältnisse in diesem Wellenbereich wird meist der atmosphärische Störpegel benutzt, der durch Gewitterentladungen entsteht. Gemessen wird hierbei entweder die Gesamtintensität oder die Anzahl der Impulse, die eine gewisse Feldstärke überschreiten. Das letztere Verfahren hat den Vorteil, daß der Einfluß von Nahgewittern gering ist, da diese zwar eine hohe Feldstärke aber nur eine geringe Anzahl von Impulsen liefern. Der überwiegende Teil wird von entfernten Quellen geliefert, wobei ein so großes Gebiet erfaßt wird, daß die gesamte Gewittertätigkeit sich nicht allzu wesentlich ändert und tatsächlich die Ausbreitungsbedingungen das Wesentliche sind. Natürlich kann man auch Sender in geeigneter Entfernung, die auf diesen Frequenzgebieten arbeiten, benutzen.

Neben der Änderung des Reflexionsfaktors tritt für Lang- und Längstwellen auch ein Absinken des Reflexionsniveaus ein. Damit ändert sich die Länge der Ausbreitungsstrecke, die die Raumwelle zurücklegt, und ihre Phasenlage relativ zur Bodenwelle. Durch Messungen der relativen Phasenlage kann man unter Berücksichtigung der geometrischen Bedingungen und der Wellenlänge die Änderung der scheinbaren Reflexionshöhe ermitteln. Derartige Untersuchungen wurden mit Längstwellen bei steilem Einfallswinkel in England durchgeführt. Bei großem Senderabstand, wenn Raum- und Bodenwelle am Tage ungefähr dieselbe

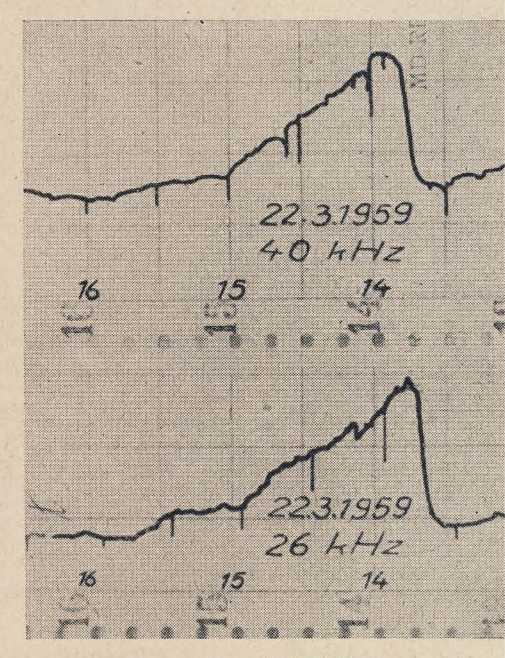


Bild 3: Sonneneruptionseffekt im atmosphärischen Störpegel auf Längstwellen

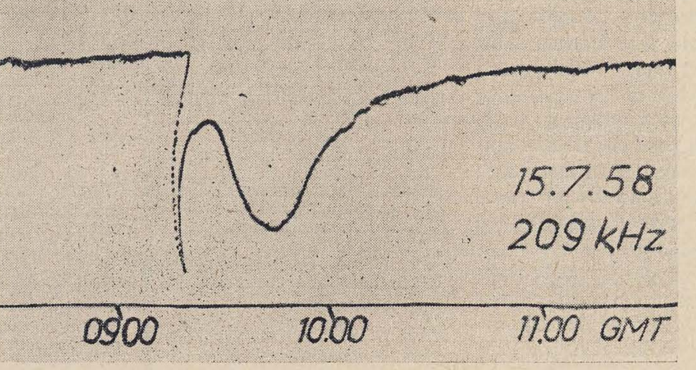


Bild 4: Registrierung von Raumwelle plus Bodenwelle auf Langwellen bei großer Senderentfernung während eines der beschriebenen Sonneneruptionseffekte

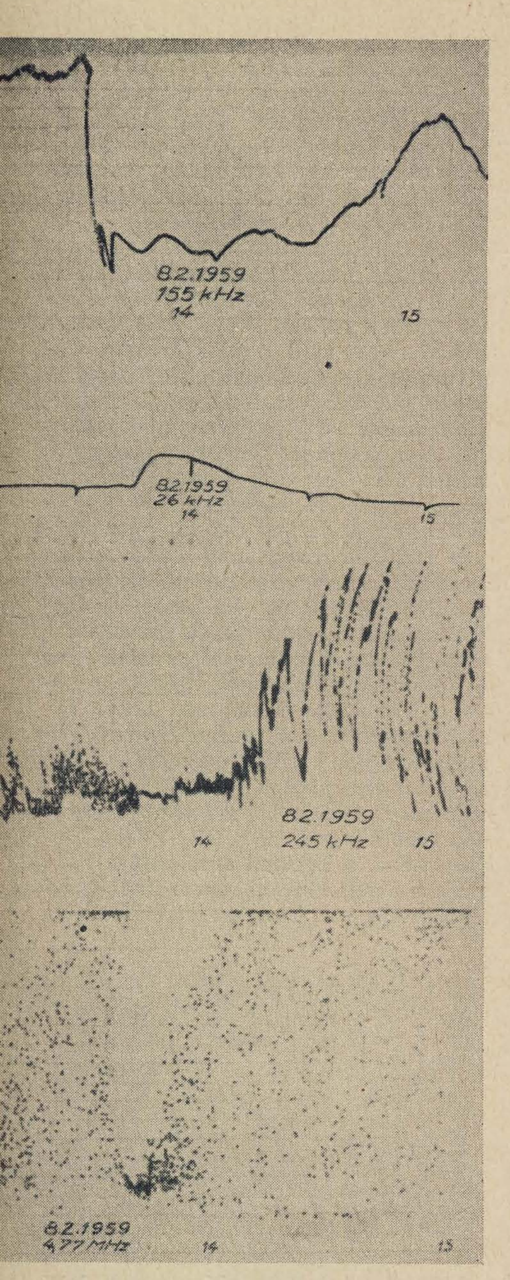


Bild 5: Zusammenstellung: Sonneneruptionseffekt auf allen Wellenbereichen.

Von oben nach unten:

Langwelle, Registrierung Raumwelle plus Bodenwelle bei großer Entfernung
Längstwelle (atmosphärischer Störpegel)
Langwelle, mittlere Entfernung
Raumwelle allein
Kurzwelle

Alle Messungen am 8. 2. 1959

Größe haben, ergeben sich zwischen beiden interessante Interferenzerscheinungen, die ohne großen Aufwand von Apparaturen beobachtet werden können. Die Hüllkurve der Summe aus Boden- und Raumwelle durchläuft dann nämlich eine zeitliche Kurve, die Ähnlichkeit mit einer gleichgerichteten Sinusschwingung hat. Es ergeben sich dabei sehr markante Maxima und Minima, deren zeitliche Lage gut festgelegt werden kann. Da der Ablauf zu Anfang sehr schnell erfolgt und sich erst später verlangsamt, kann der Beginn des Effektes sehr genau festgelegt werden (Bild 4). Da der Aufwand klein ist — es braucht faktisch nur die ankommende Feldstärke beobachtet zu werden — ist dieses Verfahren ein wertvolles Hilfsmittel zur Überwachung der Sonneneruptionseffekte. In Kühlungsborn werden derartige Untersuchungen auf einer Frequenz von 155 kHz (Sender Brasow) durchgeführt. Die Änderung des Wegunterschieds, die natürlich infolge der geometrischen Beziehungen beim Schrägeinfall kleiner ist als die Änderung der scheinbaren Reflexionshöhe, liegt in der Größenordnung einer halben Wellenlänge, es wird also ungefähr ein Minimum und ein Maximum beim Herunterlaufen der Schicht durchlaufen. Bei starken Effekten kann sie jedoch auch wesentlich mehr betragen. Die daraus errechnete Änderung der Reflexionshöhe beträgt einige Kilometer. Aus einem einzigen Effekt kann man natürlich noch nicht eindeutig schließen, welchen Anteil an der Feldstärkeänderung die Phasenänderung und welchen die Änderung des Reflexionsfaktors hat, der ja auch nicht konstant ist. Durch Vergleich, auch mit anderen Stationen, können aber eine Reihe von Erkenntnissen gewonnen werden, die sehr wesentlich sind, da die Höhen, in denen das Reflexionsniveau liegt, anderen Untersuchungsmethoden nur schwer zugänglich sind.

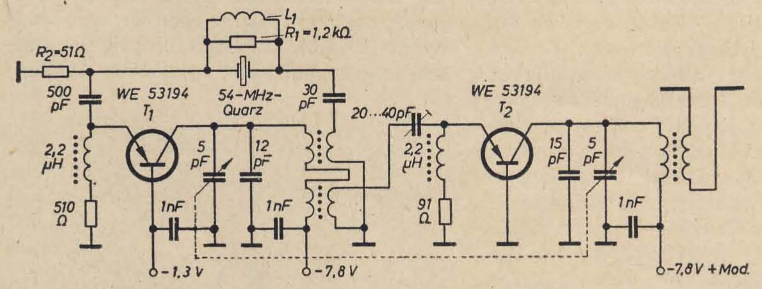
Der Vollständigkeit halber sei noch erwähnt, daß sich auch in den Variationen des erdmagnetischen Feldes ein Einfluß nachweisen läßt. Bekanntlich unterliegt das erdmagnetische Feld geringen tageszeitlichen Änderungen durch induzierte Ströme, die bei der Bewegung leitender Schichten im primären Erdfeld hervorgerufen werden. Diese Stromsysteme liegen teilweise in der unteren Ionosphäre, eine Erhöhung von deren Leitfähigkeit muß sich also bemerkbar machen. Die Effekte sind jedoch nur klein und nur in günstigen Fällen, wenn keine sonstigen Störungen vorliegen, erkennbar.

Zum Abschluß sei im Bild 5 eine Zusammenfassung eines Sonneneruptionseffektes in seinen verschiedenen Auswirkungen gezeigt. Natürlich wurde hier ein besonders günstiger Fall ausgewählt, es ist durchaus nicht immer so, daß die Effekte auf allen Frequenzen so klar zum Vorschein kommen. Bei der Bedeutung der Sonneneruptionseffekte sowohl für den praktischen Funkverkehr als auch für die Erforschung der Hochatmosphäre, die aus dem Vorhergesagten hervorgehen dürfte, erscheint es verständlich, daß man versucht, durch weltweite und systematische Beobachtungen weitere Einzelheiten über ihren Entstehungsmechanismus und ihren Verlauf aufzuklären. Eine Anzahl von Observatorien sind im Rahmen des Internationalen Geophysikalischen Jahres mit dieser Aufgabe betraut. Die beobachteten Effekte werden in verschlüsselter Form auf dem schnellsten Wege an die Regionalzentren weitergeleitet. Daraus und aus den Meldungen über andere geophysikalische und solare Vorgänge werden dann die sogenannten Ursigramme zusammengestellt, die allen interessierten Stellen zugeleitet werden, und alles Wissenswerte, was von diesen Erscheinungen beobachtet wurde, enthalten. Die Meldungen dienen auch als Unterlage für die Festlegung spezieller Weltintervalle, die vom Weltzentrum kurzfristig anberaumt werden, wenn besondere geophysikalische Erscheinungen zu erwarten sind. Zu diesen Zeiten muß dann die Beobachtungstätigkeit an den Observatorien besonders intensiviert werden.

Transistorsender in US-Satelliten

Das Bild zeigt die Schaltung des 108-MHz-Transistorsenders, der im amerikanischen Satelliten „Explorer I" eingebaut war. Der Transistor T_1 (WE 53194) schwingt als Quarzoszillator; in der darauffolgenden zweiten Stufe T_2 (WE 53194) wird die Frequenz auf ihren Sollwert 108 MHz verdoppelt. Wie bei höheren Frequenzen allgemein üblich, schwingt der Oszillatortransistor in Basisschaltung, wobei es zweckmäßig ist, den Quarz an eine Anzapfung der Kollektorkapazität gerade kompensiert. In der gezeichneten Schaltung erfolgt die Rückkopplung durch eine geteilte Spule vom Kollektor über den mitziehenden Quarz auf den Emitter des Transistors T_1. Die Grundwelle des benutzten Quarzes liegt bei 10,8 MHz, im Betrieb des Senders schwingt er auf der fünften Harmonischen mit 54 MHz. Die Spule L_1 und der Widerstand R_1 bilden einen Bauteil, die Spule ist auf den Widerstand aufgewickelt.

108-MHz-Transistorsender für 60 mW Ausgangsleistung



Sekundärspule anzuschließen. Wichtig ist noch, den Kollektorstrom richtig zu bemessen; man erreicht mit dieser Maßnahme, daß die Frequenz auch bei Erschöpfung der Batterie (gegen Ende der Lebensdauer) sehr konstant bleibt. Bei diesem definierten Wert des Kollektorstromes wird die Diffusionskapazität des Transistors in dem Sinne geändert, daß sie die Änderung der Die sich einstellende Resonanz mit der Quarzkapazität kompensiert diese. Die mit absinkender Batteriespannung unstabile Rückkopplung wird mittels des einseitig an Masse liegenden 51-Ω-Widerstandes R_2 stabilisiert. Die im Explorer angewandte Phasenmodulation des Senders wurde durch Beeinflussung der Kollektorspannung des Transistors T_2 bewirkt. *Taeger*

Dipl.-Phys. PETER GLÖDE, Observatorium für Ionosphärenforschung, Kühlungsborn

Radarechos von Polarlichtern

Die mitunter sehr farbenprächtigen Leuchterscheinungen der Polarlichter, auf der Nordhalbkugel auch Nordlicht genannt, bedeuten für den Weltfunkverkehr stets den Ausfall aller die Polargebiete berührenden Kurzwellenverbindungen und sind deshalb von allen am Funkverkehr Beteiligten gefürchtet. Die Klärung der mit den Polarlichtern zusammenhängenden Ionosphärenstörungen ist ein Teilprogramm der Erforschung der Hochatmosphäre. Dabei bieten moderne Radarverfahren neue Forschungsmethoden. Im Rahmen des Internationalen Geophysikalischen Jahres wurde im Observatorium Kühlungsborn eine solche Nordlicht-Radaranlage aufgebaut, über die hier berichtet werden soll.

Bei den mit Polarlichtern verbundenen Erscheinungen wird der enge Zusammenhang zwischen der Erdatmosphäre und den Vorgängen auf der Sonne besonders deutlich. Die Erforschung dieser Zusammenhänge war eine wesentliche Aufgabe des Internationalen Geophysikalischen Jahres. Auf der Sonne werden gelegentlich riesige Energien frei, die zu gewaltigen Bewegungen von Sonnenmaterie führen. Diese Unruhe ist von Fleckenbildung begleitet; im Fernrohr zeigen sich dann die bekannten Sonnenflecken. Bei den Energieausbrüchen wird zunächst, gleichsam als Mündungsfeuer, eine sehr energiereiche, kurzwellige Strahlung ausgesandt, die sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreitet und nach 8,3 Minuten die Erde erreicht. Das führt auf der Tagseite der Erde zu einer kurzzeitigen, als Mögel-Dellinger-Effekt bekannten Unterbrechung des Kurzwellenfunkverkehrs[1]). Neben der ausgesandten Strahlung werden aber gleichzeitig große Mengen Sonnengas von der Sonne fortgeschleudert und bewegen sich mit einer Geschwindigkeit von etwa 2000 km/s in den Weltraum. Dabei handelt es sich um geladene Teilchen, jedoch ist die gesamte Wolke elektrisch neutral, denn der Kopf von positiven Protonen wird ladungsmäßig durch einen Schwanz von negativen Elektronen kompensiert. Ungefähr 20 Stunden nach der Sonneneruption haben die Teilchen die 150 Mill. km bis zur Erdbahn zurückgelegt. Die Erde wird allerdings nur dann getroffen, wenn die Eruption in der Nähe des Sonnenäquators erfolgte, sonst geht der Strom über oder unter der Erdbahn weg. Erdbahn und Sonnenäquator liegen ja etwa in einer Ebene. Korpuskulareinbrüche in die Hochatmosphäre treten deshalb hauptsächlich dann auf, wenn die großen Sonnenflecken in der Nähe des Sonnenäquators stehen. Da die Sonnenflecken stets in hohen Breiten entstehen und dann erst auf der Sonne zu niedrigen Breiten hinwandern, sind Polarlichter am häufigsten unmittelbar nach dem Sonnenfleckenmaximum. Da die Sonne in 27 Tagen sich einmal um ihre Achse dreht, ist nach dieser Zeit die gleiche Fleckengruppe wieder in günstiger Schußposition zur Erde, und es zeigt sich eine Wiederholungstendenz mit 27tägiger Periode, sofern der Herd solange aktiv bleibt, was gerade bei den sehr starken Eruptionen nicht der Fall ist. Die Sonnenfleckenhäufigkeit zeigt bekanntlich eine elfjährige Periode. das letzte Maximum ist jetzt gerade überschritten.

Die von der Sonne ausgestrahlte Korpuskelwolke wird durch das Erdmagnetfeld von der Erde eingefangen und formiert sich im Abstand mehrerer Erdradien von der Erde als Ring in der Äquatorebene. Dann erfolgt der Einfall der Teilchen längs der magnetischen Kraftlinien, wobei noch erhebliche Beschleunigungen notwendig sind, die wahrscheinlich auf elektrostatischem Wege erzeugt werden. Dieses Einsaugen der Teilchen entlang der Kraftlinien erfolgt auch auf der Nachtseite der Erde. Das Einströmen erfolgt in einem Ring um die beiden magnetischen Pole[2]). Beim Einfall in die Hochatmosphäre erzeugen die Teilchen neben den als Polarlicht bekannten Leuchterscheinungen eine sehr starke, abnormale Ionisation im E-Schicht-Niveau. Diese Ionisation kann zur Streuung oder Reflexion von Ultrakurzwellen ausreichen. Darauf beruhen die modernen Radaruntersuchungen der Korpuskulareinbrüche in die Hochatmosphäre, die nun auch im Observatorium für Ionosphärenforschung in Kühlungsborn aufgenommen werden konnten.

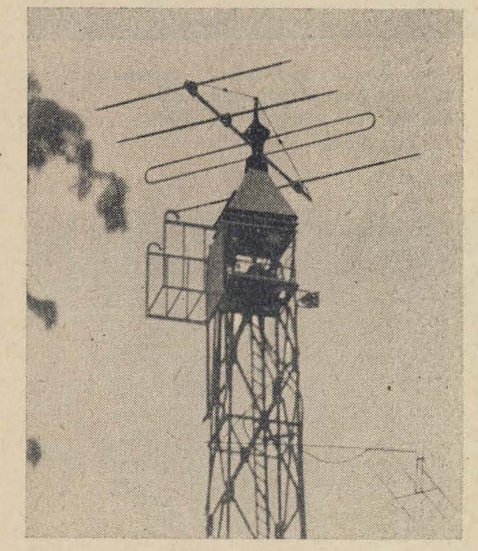


Bild 1: Antenne der 33-MHz-Radaranlage

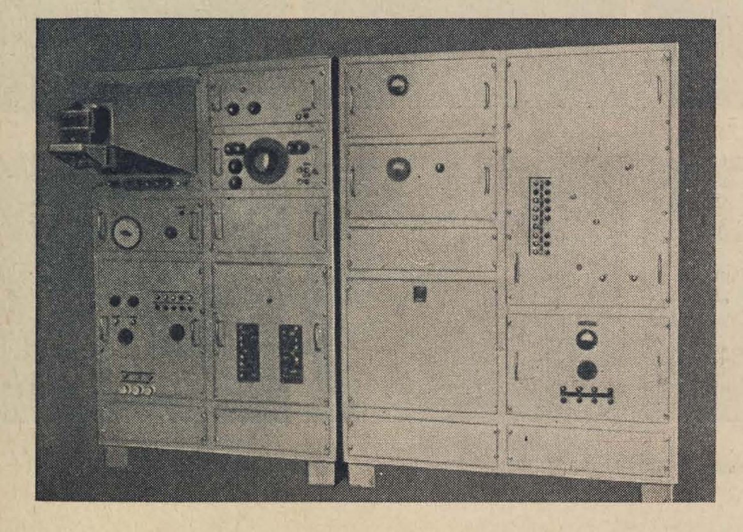


Bild 2: Blick auf den Sender (rechts) und die Empfangs- und Registrieranlage (links)

Die 33-MHz-Radaranlage in Kühlungsborn

Im Observatorium für Ionosphärenforschung in Kühlungsborn wurde im Rahmen des Internationalen Geophysikalischen Jahres eine Radaranlage aufgebaut, die auf einer Frequenz von 33 MHz Impulse von 100 μs Dauer und einer Folgefrequenz von 25 Hz aussendet[3]). Ein durchschwingender Oszillator von 4125 kHz steuert nach Verdopplung eine Taströhre an, der die aus dem Netz abgeleitete 25-Hz-Impulsfolgefrequenz zugeführt wird. Durch Vervierfachung in weiteren Stufen entsteht die Frequenz 33 MHz, die von der Endröhre mit einer Impulsleistung von 20 kW abgegeben wird. Als Antenne dient ein auf einem 50-m-Stahlturm drehbar aufgebauter Schleifendipol mit Reflektor und zwei Direktoren (Bild 1). Der Öffnungswinkel der Antenne beträgt etwa 30°, die Abstrahlung erfolgt

[1]) Siehe K. H. Schmelovsky, Sonneneruptionseffekte in der tiefen Ionosphäre. S. 412

[2]) Die magnetischen Pole fallen nicht mit den geografischen Polen zusammen. Der magnetische Südpol liegt etwa 1800 km vom geografischen Nordpol entfernt im arktischen Nordamerika

[3]) Die Anlage stammt vom VEB Wissenschaftlich Technisches Büro für Gerätebau (WTBG), Berlin

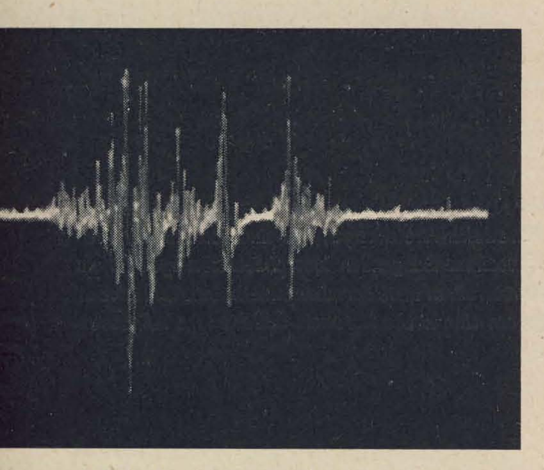


Bild 3: Amplitude der Nordlichtechos am 4. 9. 1958 auf dem Kontrolloszillografen. Im Bild links der Sendeimpuls, in 200 km Entfernung das erste Nordlichtecho

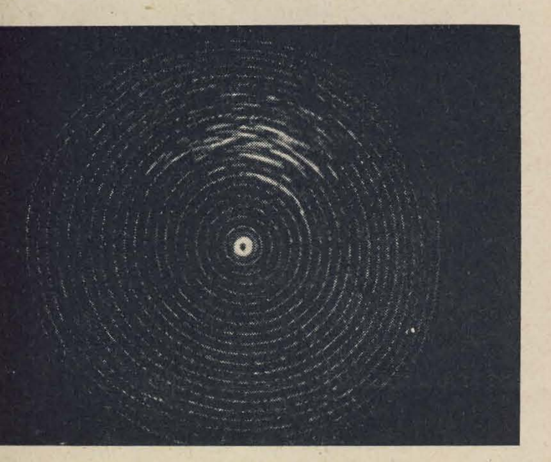
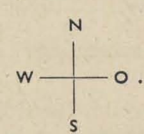


Bild 4: Typische Nordlichtstreuechos. Abstand der Entfernungsringe 100 km. Für diese und alle folgenden Panoramaaufnahmen gelten die Himmelsrichtungen der Windrose



nahezu horizontal. Die Antenne dreht sich mit zwei Umdrehungen pro Minute. Sie arbeitet gleichzeitig als Sende- und Empfangsantenne, als Umschalter dient eine Simultanschaltung (Nullode und Topfkreis). Das rückkehrende Signal wird nach selektiver Verstärkung (Doppelsuper) den Oszillografen zugeführt. Die Zeitablenkung erfolgt synchron mit dem Sendeimpuls; die Breite des Sägezahnimpulses ist umschaltbar, so daß wahlweise drei Entfernungsbereiche (0 bis 750 km, 0···2000 km, 0···5000 km) eingestellt werden können. Die Breite des Sägezahnimpulses entspricht jeweils einer bestimmten Entfernung. Die mit Lichtgeschwindigkeit sich ausbreitenden Signale werden nach 1 ms jeweils 300 km zurückgelegt haben. Da der Weg zum Ziel und zur Antenne zurück durchlaufen werden muß, hat der Sägezahn beim Entfernungsbereich 2000 km eine Breite von 13,3 ms. Ein Echo aus 1000 km Entfernung käme nach 6,7 ms zurück und würde auf der Mitte der Zeitlinie abgebildet. Der erste Oszillograf der Anlage dient der visuellen Betrachtung, die Ordinate mißt die Amplitude des zurückkommenden Echos, die Abszisse ist die oben beschriebene Entfernungslinie (Bild 3). Ein weiterer mit dem Sendeimpuls synchronisierter Generator liefert die Entfernungsmarken im Abstand von wahlweise 100 km oder 500 km, die als Hellsteuerimpulse auf der Zeitlinie erscheinen. Der zweite Oszillograf dient zur Registrierung. Es handelt sich dabei um ein Panoramabild. Die magnetische Zeitablenkeinheit (Entfernung) wird durch einen Drehmelder synchron mit der Antenne gedreht. Die Echos tasten den Strahl hell, so daß die in den Bildern 5, 6 und 8 gezeigten Aufnahmen entstehen. Die Kamera ist jeweils für eine ganze Umdrehung der Antenne geöffnet, die punktförmigen Entfernungsmarken bilden sich also als konzentrische Kreise um den durch die Reste des Sendeimpulses hellgetasteten Sendestandort aus. Zur fotografischen Aufnahme dient eine Praktina FX mit Antriebsmotor. Die Auslösung der Kamera, Beleuchtung der gleichzeitig fotografierten Uhr und Datumskennung (bei den Bildern aus Gründen der Raumersparnis weggeschnitten), sowie die Hellsteuerung der Oszillografen besorgt ein auf dem Turm angebrachtes Nockenschaltwerk, das vom Antennenmotor direkt angetrieben wird.

Neben der Nordlichtuntersuchung gestattet die Anlage auch die Beobachtung der übrigen Ionosphärenschichten (back-scatter) sowie die Ortung von Meteorspuren, die als Voruntersuchung für eine Funkverbindung über Meteorionisation („Janett"-Verfahren) auch praktische Bedeutung gewinnt.

Radaruntersuchungen der Nordlichtionisation

Die Ortung der abnormalen Nordlichtionisation beruht auf der Reflexion oder Streuung von Ultrakurzwellen. Wenn der Korpuskulareinfall entlang der magnetischen Kraftlinien erfolgt, werden sich in der Höhe der E-Schicht stark ionisierte Säulen ausbilden. Auch bei der visuellen Nordlichtbeobachtung ist in sehr vielen Fällen eine solche Säulenstruktur erkennbar, sogenannte Strahlen oder Draperien, für die Höhen vornehmlich zwischen 90 km und 130 km gefunden werden, wobei in einzelnen Fällen bis herunter zu 60 km Höhe Nordlicht beobachtet werden konnte. Neben den bewegten Formen gibt es ruhige Formen des Nordlichts, diffuses Leuchten oder homogene Bögen. Man könnte annehmen, daß mit diesen ruhigen, strukturlosen Leuchterscheinungen auch eine diffuse Form der Ionisation verbunden sei. Das würde die von einigen Autoren gefundene Tatsache erklären, daß bei ruhigen Nordlichtformen keine Radarechos zu erhalten sind. Jedoch scheinen die Zusammenhänge nicht so einfach zu sein, denn auch bei ausgeprägter Strahlenstruktur treten gelegentlich keine Echos auf. Die beiden Nordlichttypen sind ja auch durchaus nicht streng voneinander geschieden, aus den homogenen Leuchterscheinungen brechen plötzlich farbenprächtige Strahlen hervor, die aber ebenso schnell wieder verschwinden können.

Nordlichtechos kommen hauptsächlich aus den Gebieten, wo der Radarstrahl senkrecht auf die magnetischen Kraftlinien und damit senkrecht auf die Ionisationssäulen trifft. Die dabei entstehenden scharfen Echolinien sind in den Bildern 5, 6 und 8 zu sehen. Da der Öffnungswinkel der Antenne etwa 30° beträgt, erscheinen natürlich nicht einzelne scharfe Säulen, sondern ein ganzer Bogen. Hinter diesen scharfen Konturen, die durch direkte Reflexion entstehen, sind die Streuechos sichtbar, bei denen das Signal an der Nordlichtionisation abgelenkt wurde und dann am Erdboden rückgestreut wird. Das Echo läuft dann wieder über die Nordlicht-E-Schicht zum Sendeort zurück. Auf der Registrierung erscheint das Echo in der Entfernung der Streuzone am Erdboden, die beteiligte abnormale Ioni-

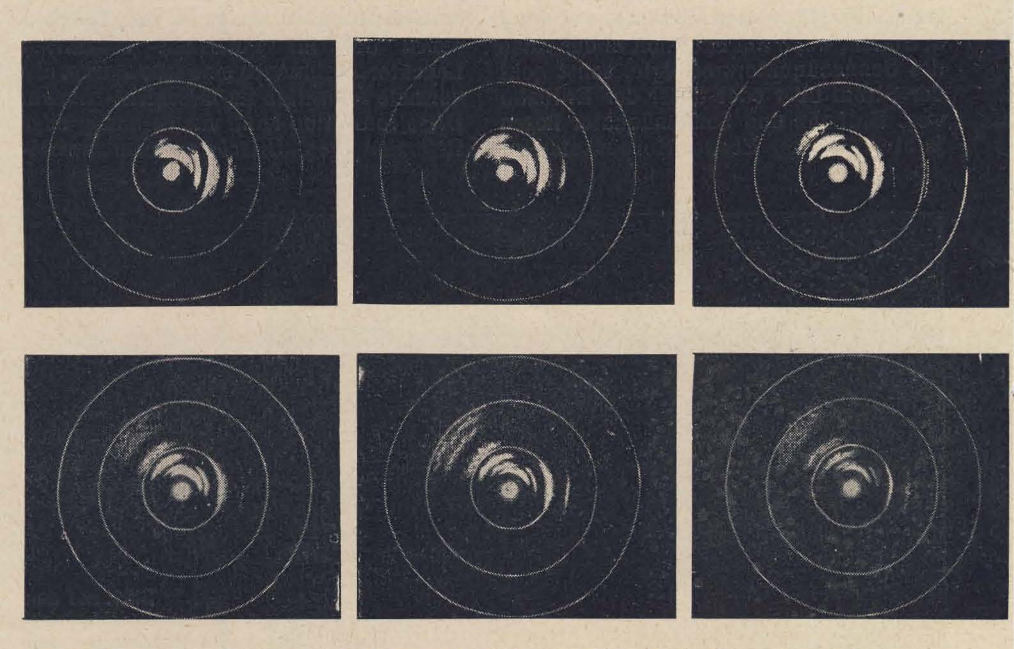


Bild 5: Nordlichtechos am 4. 9. 1958, 16.40 bis 16,50 GMT im Abstand von jeweils 2 Minuten (Abstand der Entfernungsringe 500 km)

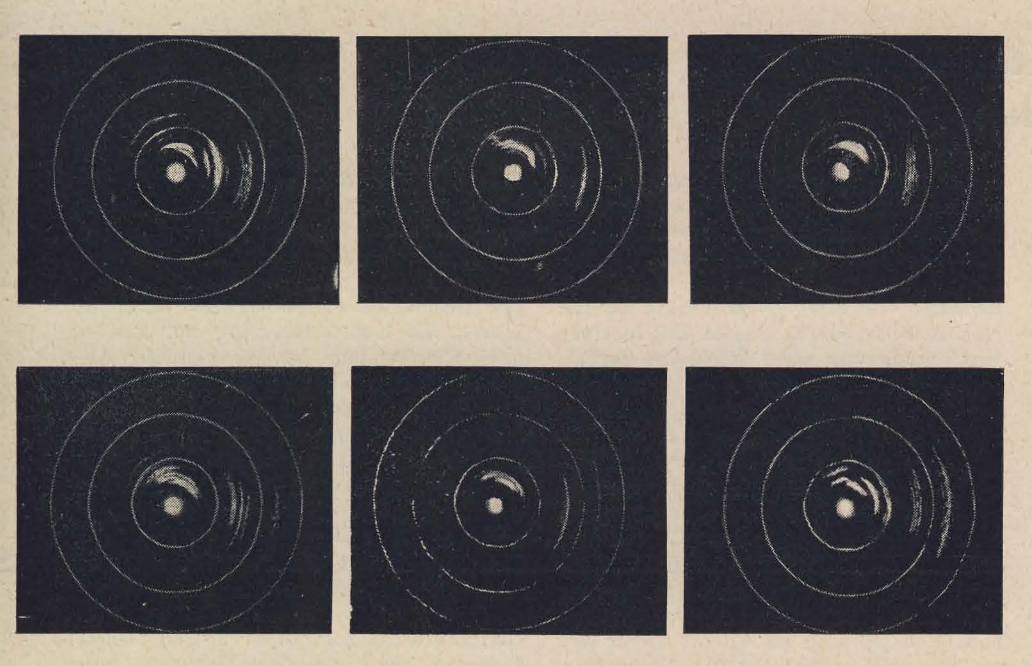


Bild 6: Nordlichtechos am 4. 9. 1958, 22.20 bis 22.28 GMT im Abstand von jeweils 1 bis 2 Minuten (Abstand der Entfernungsringe 500 km)

sation ist in der halben Entfernung zu denken. Während bei den Bildern 5, 6 und 8 sowohl direkte Reflexionen als Streuung deutlich erkennbar sind, zeigt Bild 4 nur das sehr diffuse Streuecho. Als Beleg für die starke Ionisation soll auch die Registrierung der Vorwärtsstreuung des schottischen Fernsehsenders Kirk of Scotts, 51,75 MHz, dienen. Bild 7 zeigt die schlagartig einsetzende Übertragung am 27. 3. 1959, während gleichzeitig, wie Bild 8 zeigt, Radarechos zu beobachten waren. Auch in anderen Fällen ergaben sich bei Korpuskulareinbrüchen gleichzeitig mit den Radarechos gute Fernausbreitungsbedingungen über etwa 1000 km im Meterwellenbereich, wo sonst keine Übertragung beobachtet werden konnte. Natürlich wird in den Sommermonaten auch eine Übertragung über die E_s-Schicht zu beobachten sein, die ebenso wie die Nordlicht-E_s-Schicht starke Radarechos liefert. Die Unterscheidung zwischen diesen beiden Fällen von abnormaler Ionisation im E-Schicht-Niveau ist meist schon durch die Richtung, aus der die Radarechos kommen, möglich; in allen anderen Fällen genügte ein Vergleich mit der erdmagnetischen Aktivität.

Wie beschrieben führt der Einfall von Sonnenmaterie in die Hochatmosphäre zu einer Ionisation im E-Schicht-Niveau, was im Kurzwellenbereich zu einer starken Dämpfung, dem gefürchteten Polarblackout führt. In den Höhen der F-Schicht dagegen, über die man unter normalen Bedingungen backscatter-Echos aus 3000 km bis 5000 km Entfernung erhält, wird die Schichtstruktur durch diesen Einfall soweit aufgelöst, daß keine Übertragungsbedingungen mehr bestehen. Schwaches backscatter ist dann nur noch aus südlichen Richtungen zu empfangen. Im Laufe mehrerer Stunden breitet sich die Störung weiter nach Süden aus, so daß dann auch hier keine backscatter-Übertragung mehr möglich ist.

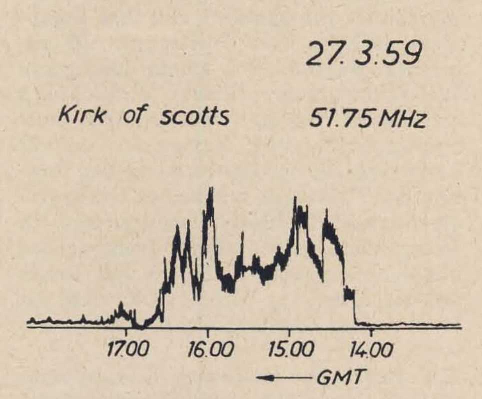
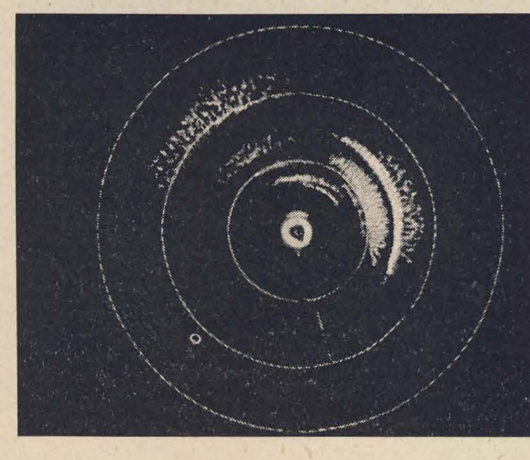


Bild 7: Beispiel einer Registrierung des forward-scatters

Betrachtet man die Richtung, aus der die Radarechos von der Nordlicht-E-Schicht kommen, so fällt eine eindeutige Bevorzugung der Richtung Ost auf. Das ist in den Tagesstunden besonders ausgeprägt. Zunächst kann hierfür noch keine Erklärung gegeben werden, jedoch ist es offensichtlich keine Folge der eventuell gestörten Richtwirkung der Antenne. Auch andere Stationen beobachten Echos häufiger oder stärker aus dieser Richtung. Hier werden erst weitere Untersuchungen eine Klärung bringen, wie ja überhaupt die ganze Erforschung der Korpuskularstörungen bisher noch viele Fragen offen gelassen hat. Das gilt besonders für die sogenannten sonnenbeschienenen Nordlichter, die nach Sonnenaufgang bzw. vor Sonnenuntergang in Höhen zwischen 200 km und 1000 km beobachtet wurden. Durch diese Beobachtungen war man erstmalig auf die noch relativ große Gasdichte in diesen Höhen aufmerksam geworden. Die Satellitenmessungen haben in jüngster Zeit hierfür die Bestätigung geliefert. Gerade die während der Tagesstunden auftretenden Nordlichter können mit dem Radarverfahren erstmalig näher untersucht werden. So wurden in Kühlungsborn bereits in den Nachmittagsstunden mehrmals starke Echos beobachtet, die aus dem E-Schicht-Niveau kommen, wie aus den in den Bildern 5 und 8 abzulesenden Entfernungen folgt. Dabei entstehen die Echos in über 1000 km Entfernung im Osten und wandern dann im Verlauf etwa einer Stunde dichter heran. Während der Tagesstunden zeigte sich eine Bewegung von Ost nach Nord-West, für die die Fotos im Bild 5 als Beleg dienen sollen. Die Aufnahmen sind im Abstand von jeweils zwei Minuten gemacht und lassen diese Ost-Nordwest-Bewegung erkennen, die natürlich bei einer Betrachtung eines mit geeigneter Zeitraffung aufgenommenen Filmes noch deutlicher wird. Etwa z. Z. des Sonnenunterganges werden die Echos im allgemeinen zusehends schwächer und verschwinden dann für einige Stunden ganz. Danach treten sie manchmal erneut auf, so am 4. 9. 1958 (Bild 6) oder am 27. 3. 1959 (Bild 8), bleiben gelegentlich dann aber auch ganz aus. Trotz schöner Nordlichterscheinungen mit Strahlenstruktur sind dann keine Radarechos mehr zu empfangen. Die in den Nachtstunden aufgenommenen Echos wandern offensichtlich in umgekehrter Richtung, also von Nordwest nach Ost, was die Fotos im Bild 6 veranschaulichen sollen. Neben der Umstellung der Bewegungsrichtung gibt es einen Tagesgang in der Echohäufigkeit mit einem ersten Maximum in den Nachmittagsstunden und einem zweiten gegen Mitternacht.

Die Erforschung des gesamten Fragenkomplexes der Korpuskulareinbrüche und deren Auswirkungen in der Hochatmosphäre hat durch die hier beschriebene Anwendung der Funkmeßtechnik neue Impulse erhalten. Dabei wurden bisher solche Messungen hauptsächlich in der Nähe der Polarlichtzone durchgeführt. Den Radarbeobachtungen in mittleren Breiten kommt daher besondere Bedeutung zu. Im Gegensatz zu den Echolotungen, die stets nur über die Ionisation in einem eng begrenzten Raum Aussagen ermöglichen, wird mit dem Radarverfahren eine sehr große Fläche überwacht. Derartige Messungen bilden daher eine wesentliche Ergänzung der übrigen indirekten Methoden zur Erforschung der Hochatmosphäre.

Bild 8: Nordlichtechos am 27. 3. 1959, 16.35 GMT (Abstand der Entfernungsringe 500 km)



Einige Gedanken zur interplanetarischen Navigation und Nachrichtenverbindung

Für den HF-Ingenieur ist der Weltraum ein ideales Arbeitsfeld, einerseits weil die Rundfunkwellen durch keine Atmosphäre abgelenkt, gebrochen oder gedämpft werden, und andererseits, weil kein „Radiohorizont“ vorhanden ist, weshalb gerade die Mikrowellentechnik hier große Bedeutung erlangen dürfte.

Navigation

Die Weltraumnavigation scheint bei einer ersten Betrachtung ein verhältnismäßig einfaches Problem zu sein, da die Lage der Himmelskörper mit großer Genauigkeit berechnet werden kann, und es somit leicht sein dürfte, eine Richtung zu der zukünftigen Lage eines Bestimmungspunktes festzulegen und dann das Weltraumschiff diesen Kurs befolgen zu lassen. Schwierigkeiten entstehen jedoch, wenn es sich darum handelt, daß das Weltraumschiff den vorgezeichneten Kurs und seine Fluggeschwindigkeit mit einer solchen Genauigkeit einhalten soll, daß das Fahrzeug am Bestimmungspunkt gleichzeitig mit dem vorgesehenen Landungshimmelskörper ankommt. Reist man z. B. von der Erde zum Mars während dessen größter Erdnähe (kleinste Weglänge = 57600000 km), so genügt bereits ein Winkelfehler von einer Bogenminute für die Rakete beim Start, um am Ziel in einer Entfernung von etwa 16000 km vorbeizufliegen. Der Abschußfehler bei den bisher abgeschossenen Satelliten betrug jedoch mehrere Bogenminuten. Ist die Abschußgeschwindigkeit von der berechneten um 1 % abgewichen, so liegt das Fahrzeug am Ende der Flugdauer etwa 640000 km vom Ziel entfernt!

Bild 1: Das gedachte Koordinatensystem bei der Himmelskörpernavigation innerhalb unseres Sonnensystems. Die Sonne ist im Nullpunkt und drei Sterne sind Bezugspunkte ▼

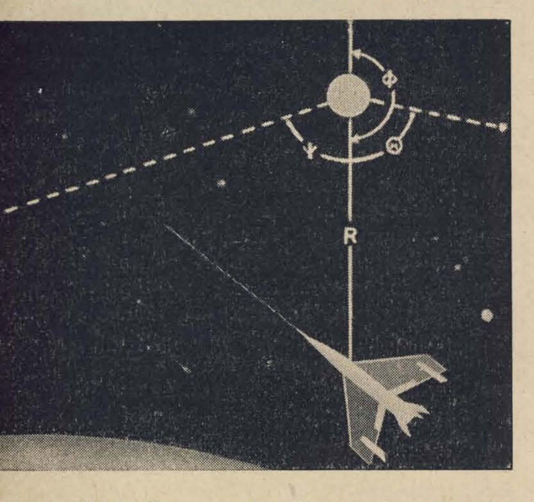
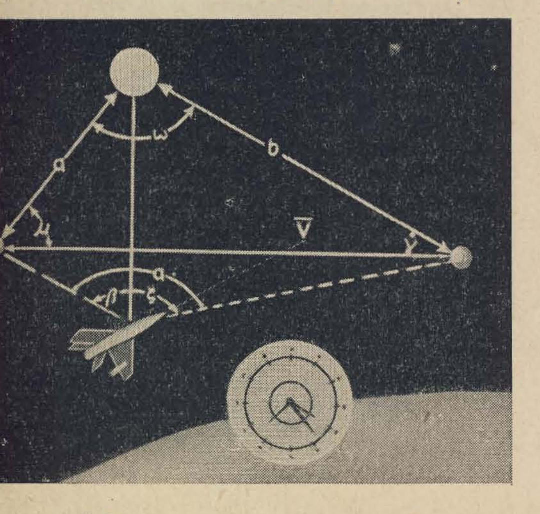


Bild 2: Das gedachte Koordinatensystem bei der Himmelskörpernavigation. Hier ist das Fahrzeug im Nullpunkt und die Sonne und zwei Planeten stellen die Bezugspunkte dar ▼



Man rechnet damit, daß die ersten Weltraumfahrzeuge nur bestimmten, voraus berechneten Bahnen werden folgen können, und daß man bei Flügen dieser Art optische Hilfsmittel für die Navigation benutzen wird. Während des Fluges könnten eventuell benötigte Berechnungen von auf der Erde installierten Rechenmaschinen durchgeführt und ihre Ergebnisse drahtlos dem Weltraumschiff zugeleitet werden. Bei einem häufigeren Weltraumverkehr dürften automatisch arbeitende Navigationshilfsmittel notwendig sein. Das Navigieren umfaßt hauptsächlich die Bestimmung der Position des Fahrzeugs und seines Geschwindigkeitsvektors. Hierfür benötigt man ein Bezugskoordinatensystem (vergleichbar mit der geografischen Länge und Breite auf der Erde), im Verhältnis zu dem die Position des Fahrzeugs bestimmt werden kann.

Ein derartiges denkbares Koordinatensystem innerhalb des Sonnensystems kann mit der Sonne als Nullpunkt und drei „unendlich“ weit entfernt gelegenen Sternen als Bezugspunkte für die drei Richtungskoordinaten ausgelegt werden (Bild 1). In diesem Koordinatensystem lassen sich Richtung des Vektors R zwischen Nullpunkt und Flugkörper und „Kurs“ des Flugkörpers bestimmen. Die Größe des Vektors (Position) kann sich durch Messen des scheinbaren Sonnendurchmessers (vom Fahrzeug aus gesehen) bestimmen lassen. Diese Methode ergibt natürlich leicht große Positionsfehler, da es schwierig ist, den Sonnendurchmesser mit genügend großer Genauigkeit zu messen.

Ein anderes Bezugssystem ist denkbar, bei dem das Weltraumschiff im Nullpunkt und die Richtungskoordinaten beispielsweise durch die Sonne bzw. durch zwei Planeten gehen (Bild 2). Mit diesem System läßt sich eine sehr genaue Positionsangabe erzielen, aber es setzt voraus, daß man in jedem Augenblick die Lage der Planeten kennt. Ein sehr genauer Chronometer muß also zur Meßausrüstung gehören.

Obwohl beide beschriebenen Navigationsmethoden für die Bestimmung der Fahrzeugposition verwendbar sind, sind die dafür erforderlichen Berechnungen nicht sonderlich schnell durchzuführen, beispielsweise, wenn es sich um die Bestimmung der Fluggeschwindigkeit handelt. Für den Anfang hat dies vielleicht keine so große Bedeutung, aber in dem Ausmaß, in dem die Fluggeschwindigkeiten zunehmen, wird man stärker nach Möglichkeiten suchen, schnelle Messungen durchzuführen. Es liegt nahe, eine Art Radionavigationssystem zu verwenden, obwohl ein solches System natürlich erheblich komplizierter als die üblicherweise auf der Erde benutzten sein muß. Unter anderen muß die relative Bewegung zwischen den „Boden“stationen untereinander und zwischen diesen und dem Fahrzeug berücksichtigt werden.

Heute diskutiert man im Prinzip drei denkbare Lösungen für die Radionavigation:

Gerichtete Radiostrahlen zwischen den Planeten, auf denen die Fahrzeuge „reiten“ können, rundstrahlende Radioleuchtfeuer mit breitem Fächer auf den Planeten oder in Satelliten, die die Weltraumschiffe ansteuern bzw. mit deren Hilfe sie Position und Fluggeschwindigkeit bestimmen können.

Die zweite Lösung sieht so aus, als ob sie sich am leichtesten verwirklichen ließe: Das Navigieren mit Hilfe rundstrahlender Leuchtfeuer ist leicht durchzuführen. Da die „Bodenstationen“ (die Planeten) rotieren, muß man auf ein und demselben Planeten mehrere Leuchtfeuer einrichten, die auf der gleichen Frequenz arbeiten.

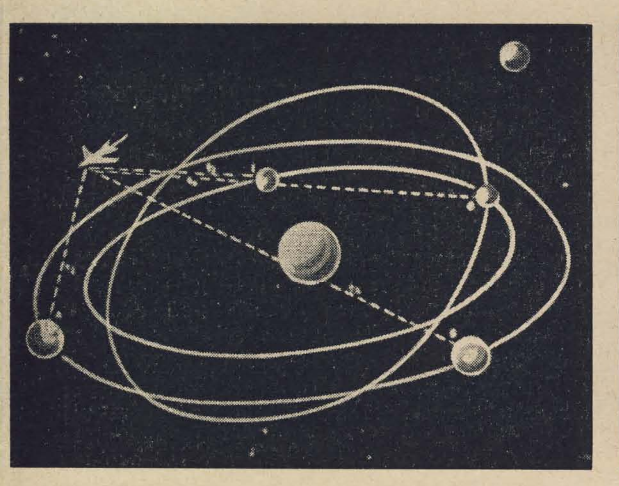
Das dreidimensionale Raum-Loransystem (Bild 3) fordert mindestens vier Rundstrahlsender, die auf Planeten oder in Satelliten mit absolut bekannten Umlaufbahnen um die Sonne stationiert sind. Die Position des Fahrzeugs wird auf die gleiche Art wie bei dem auf der Erde benutzten Loran-System dadurch bestimmt, indem man den Unterschied in den Ankunftszeiten zwischen Impulsen mißt, die von den Sendern synchron gesendet werden.

Nachrichtenverbindung

Sowohl bei der Weltraumnavigation als auch bei den Nachrichtenverbindungen im Weltraum ist es wesentlich, den Sendern eine große Reichweite zu geben, da ungeheure Entfernungen zu überbrücken sind[1]). Unaufhörlich wird an der Verbesserung der Sender, Empfänger, Antennen, Methoden und Prinzipien der Nachrichtenübertragung usw. gearbeitet. Man rechnet damit, daß um das Jahr 1970 die Funkausrüstung eine 40mal so große Reichweite wie die heute zur Verfügung stehende haben wird.

Auf der Empfängerseite setzt man unter anderen große Hoffnungen auf die neuen Typen der Wanderwellenröhren sowie auf neue Methoden für die Verminderung des Empfängerrauschens durch Unterkühlen der wesentlichen Teile. Im Gebiet der Mikrowellen ist die dem kosmischen Rauschen äquivalente Rauschtemperatur

[1]) Siehe dazu auch S. 419 bzw. 421



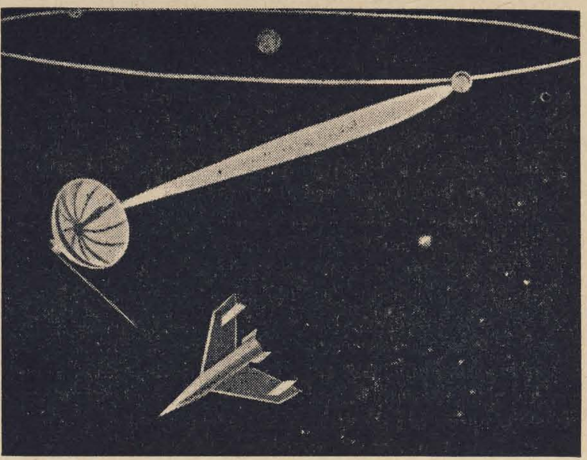


Bild 3 (links): Prinzipskizze eines gedachten Weltraum-Loransystems

Bild 4: Projekt für eine Richtantenne für die Verbindung zwischen dem Weltraumfahrzeug und ihrer Bodenstation

30° K. Kann die Rauschtemperatur der wesentlichen Einzelteile des Empfängers auf diese niedrigen Werte herabgesetzt werden, so bedeutet dies eine Empfindlichkeitsvergrößerung von etwa 7,5 dB.
Ein entscheidendes Verbindungsglied ist die Antenne. Um eine gute Reichweite zu erzielen, muß man Richtantennen benutzen. Gute Richtantennen auf dem „Boden" zu bauen, ist nicht schwer, aber wegen des Platzmangels bereitet es Schwierigkeiten, die Flugkörper mit derartigen Antennen zu versehen. Man hat den Gedanken erwogen, das Weltraumschiff eine Richtantenne ausstoßen zu lassen, die an der Schiffsseite mitgeführt und von dort auf die Bodenstation gerichtet werden könnte (Bild 4).

Die Nachrichtentechnik, die wir voraussichtlich im Jahre 1975 haben werden, ist also für Weltraumfahrten innerhalb unseres Sonnensystems ausreichend. Die nächste Stufe wären dann Reisen zu anderen Sonnensystemen. Der nächste Stern liegt jedoch etwa $38{,}4 \cdot 10^{18}$ km entfernt. Auch wenn die Möglichkeit bestehen würde, dorthin zu gelangen, wäre der praktische Sinn einer drahtlosen Nachrichtenverbindung infrage gestellt: Eine telegrafische Antwort würde acht Jahre auf sich warten lassen . . . D. H.

Übersetzte und leicht gekürzte Fassung des Originalbeitrages „Interplanetarisk telekommunikation och navigation", die wir der schwedischen Fachzeitschrift „Teknisk Tidskrift" mit freundlicher Genehmigung des Herausgebers entnahmen.

Literatur

P. A. Castruccio: Interplanetary communication and navigation, Westinghouse Eng. 3 (1958) S. 88···92

H. E. Prew: Space exploration — a new challenge to the electronics industry, IRE Trans. Military Electronics, Dez. 1957 S. 43···48

J. H. Trexler: Lunar radio echoes, Proc. IRE Jan. 1958 S. 286···292

Dipl.-Phys. HANS-JOACHIM FISCHER

Reichweiten von Nachrichten- und Funkortungsverbindungen im interplanetarischen Raum

Durch den erfolgreichen Start der sowjetischen interplanetaren Rakete ist das Interesse breiter Kreise auf Fragen der Nachrichtentechnik im Zusammenhang mit der Erforschung des Kosmos gelenkt worden. Bisher war die größte Entfernung, die mittels elektromagnetischer Wellen überbrückt wurde, der Erdumfang von 40000 km. Durch die Weltraumraketen ist erstmalig eine experimentelle Überprüfung der Ausbreitungsbedingungen elektromagnetischer Wellen über Entfernungen von Millionen Kilometer möglich. Es taucht nun die Frage auf: Wie weit kann man mit heute üblichen Radargeräten eine interplanetare Rakete verfolgen und bis zu welchen Entfernungen ist eine Funkverbindung zwischen der Rakete und einer Bodenstation auf der Erde möglich? Natürlich läßt sich eine genaue Reichweitenberechnung auf Grund des Fehlens von Daten des interplanetaren Raumes heute noch nicht durchführen, mit einigen vereinfachenden Annahmen ist aber zumindest die Größenordnung der überbrückbaren Entfernungen festzulegen. Es soll Gegenstand des vorliegenden Beitrages sein, anhand bekannter Gesetzmäßigkeiten die möglichen Reichweiten zu bestimmen.

Ableitung der Radarformel und der Bakengleichung

Im freien Raum kann man eine quasioptische Ausbreitung der elektromagnetischen Wellen vom Radargerät zum Ziel und zurück annehmen. Unter diesen vereinfachenden Annahmen und bei Vernachlässigung der Dämpfung auf dem Übertragungsweg kann man eine Beziehung zwischen Senderleistung, Antennendaten, Zieldaten und Empfängerempfindlichkeit herleiten. Zunächst soll angenommen werden, daß die Energie des Senders N_s von einer Rundstrahlantenne gleichförmig in alle Raumrichtungen abgestrahlt wird. Die Größe des Leistungsflusses pro Flächeneinheit im Abstand r vom Sender ist dann

$$\Phi_r = \frac{N_s}{4 \pi r^2}. \quad (1)$$

Benutzt man eine Richtantenne, wie es in der Radartechnik üblich ist, so kann in einer bestimmten Raumrichtung ein größerer Leistungsfluß erreicht werden. Man nennt nun die Zahl G den Antennengewinn, wenn mit ihr das Vielfache des Leistungsflusses am Ort x gegenüber dem am selben Ort herrschenden Leistungsfluß bei isotrop strahlender Sendeantenne bezeichnet wird. Der Antennengewinn G ist mit den geometrischen Daten der Antenne und der benutzten Wellenlänge verknüpft.
Der maximale Gewinn einer Richtantenne gilt für die Hauptstrahlungsrichtung und beträgt:

$$G_{max} = \frac{4 \pi F f}{\lambda^2}. \quad (2)$$

Hierbei ist F die geometrische Antennenfläche (Apertur) und f ein dimensionsloser Faktor, der die Ausleuchtung der Antenne berücksichtigt. Bei gleichmäßiger Ausleuchtung ist f = 1, in der Praxis liegt f zwischen 0,5 und 0.7.
Die am Ziel eintreffende Energie beträgt bei Verwendung einer Richtantenne mit dem Gewinn G:

$$N_z = \frac{N_s G}{4 \pi r^2}. \quad (3)$$

Vom Ziel selbst erfolgt eine diffuse Rückstreuung der auffallenden Energie. Man denkt sich das Ziel durch eine senkrecht zur Einfallsrichtung stehende Fläche der Größe σ ersetzt, und nennt σ den Rückstrahlquerschnitt des Objektes. Der Wert von σ hängt sowohl von der benutzten

Wellenlänge als auch vom „Blickwinkel", d. h. vom Einfallswinkel der auftreffenden Strahlung ab. Der Rückstrahlquerschnitt kann nur in einigen wenigen Fällen exakt berechnet werden.

Betrachtet man das Ziel als Quelle einer Sekundärstrahlung, die zum Empfänger des Radargerätes zurückgelangt, so ist die Energie am Ort der Empfangsantenne:

$$N'_e = \frac{N_s G}{4 \pi r^2} \cdot \frac{\sigma}{4 \pi r^2}. \qquad (4)$$

Diese Empfangsleistung tritt pro Flächeneinheit auf und um die am Empfänger auftretende Leistung zu ermitteln, muß man sie mit der effektiven Empfangsantennenfläche multiplizieren. Die endgültige Formel lautet dann

$$N_e = \frac{N_s G}{4 \pi r^2} \cdot \frac{\sigma}{4 \pi r^2} \cdot \frac{G \lambda^2}{4 \pi}, \qquad (5)$$

und wenn man für N_e die minimale Empfangsleistung einsetzt, die gerade noch für einen Nachweis ausreicht, kann die Gleichung nach r aufgelöst werden. Man erhält die maximale, mit einem Radargerät überbrückbare Entfernung zu

$$r_{max} = \sqrt[4]{\frac{N_s G^2 \cdot \lambda^2 \cdot \sigma}{N_{e,\,min} (4 \pi)^3}}. \qquad (6)$$

Im weiteren Verlauf unserer Betrachtungen sollen die einzelnen Faktoren in Gleichung (6) einer näheren Untersuchung unterzogen werden. Vorher sei jedoch noch die zu erwartende Reichweite errechnet, wenn sich am Orte des Zieles ein Antwortsender befindet. Es ist klar, daß dieser Fall einer einfachen zweiseitigen Nachrichtenverbindung entspricht, und daß die hier zu erwartenden Reichweiten viel größer als bei einer Rückstrahlortung sind.

Für die am Ort des aktiven Sekundärstrahlers eintreffende Energie gilt:

$$N_{e,\,b} = N_s \frac{G\, G_b \cdot \lambda^2}{16 \pi^2 r^2}. \qquad (7)$$

Wird die gleiche Antenne wieder zur Abstrahlung benutzt und ebenfalls die Radarsendeantenne als Empfangsantenne, dann beträgt die Energie am Ort des Radargerätes

$$N_{e,\,r} = N_{s,\,b} \frac{G\, G_b\, \lambda^2}{16 \pi^2 r^2}. \qquad (8)$$

$N_{s,\,b}$ ist die Senderleistung des Bakensenders. Die Brüche in (7) und (8) sind gleich, daher gilt für maximale Reichweite die Beziehung:

$$N_{e,b}/N_{e,r} = N_s/N_{s,b}. \qquad (9)$$

Zur Zeit erreichbare Werte für die Faktoren der Radargleichung und maximal mögliche Reichweiten

Als erster Faktor steht im Zähler von (5) die Senderleistung. Hier muß die maximale Impulsleistung eingesetzt werden. Im Jahre 1945 war bei einer Wellenlänge von 10 cm bereits eine HF-Impulsleistung von 1 MW verfügbar. Man kann heute für den Frequenzbereich von 100 bis 3000 MHz eine maximale Senderleistung von 10 MW erreichen. Dabei werden als Senderöhren Magnetrons, Amplitrons oder Mehrkammerklystrons verwendet. Für unsere weiteren Betrachtungen sollen drei charakteristische Wellenlängen eingesetzt werden, nämlich $\lambda = 3$ m, 50 cm und 10 cm. Setzt man als Antenne einen Parabolspiegel von 60 m Durchmesser voraus (Jodrell-Bank-Radioteleskop), dann ergeben sich für die drei Wellenlängen folgende Maximalgewinne:

G = 2880 für 3 m
G = 108000 für 0,5 m
G = 2580000 für 10 cm.

Der Rückstrahlquerschnitt ist durch Größe und Gestalt des zu ortenden Objektes gegeben und soll für den „Sputnik" zu 5 m² angenommen werden.

Als letzte Größe bleibt nur die Empfängergrenzempfindlichkeit zu betrachten. Sie ist bandbreitenabhängig und beträgt $4 \cdot 10^{-21}$ W/Hz. (Dies gilt für Zimmertemperatur). Rechnet man mit Impulsdauern von 10 µs bis 1 ms, dann sind annähernd Bandbreiten von 1000 bis 100000 Hz erforderlich und die heute erreichbaren Empfängerempfindlichkeiten liegen im Bereich von 10^{-15} bis 10^{-18} Watt.

Wir wollen nun zunächst für die längste Welle die maximal gegen den Sputnik mögliche Reichweite berechnen. Hier noch einmal die für die Berechnung verwendeten Daten:

Senderleistung $N_s = 10^7$ W
Antennengewinn G = 2880
Rückstrahlquerschnitt = 5 m²
Wellenlänge = 3 m
Grenzempfindlichkeit = $4 \cdot 10^{-16}$ W

Dann ist $$r_{max} = \sqrt[4]{\frac{10^7 \cdot 2880^2 \cdot 3^2 \cdot 5}{4 \cdot 10^{-16} \cdot 4^3 \cdot 3{,}14^3}} = 8{,}5 \cdot 10^6 \text{ m} = 8500 \text{ km}.$$

Die für den Empfänger angenommene Grenzempfindlichkeit gilt für eine Impulsdauer von 100 µs und eine Empfindlichkeit von 10 kT. Rechnet man das Beispiel bei sonst unveränderten Daten für die beiden anderen Wellenlängen durch, so ergibt sich:

r_{max} = 21000 km für 50 cm Wellenlänge

und

r_{max} = 46000 km für 10 cm Wellenlänge.

Man kann aus den hier durchgeführten Berechnungen ersehen, daß die um die Erde kreisenden Satelliten ohne weiteres mit modernen Radargeräten feststellbar sind.

Für eine weiterreichende Ortung ist aber das Vorhandensein eines aktiven Antwortsenders an Bord der Rakete unerläßlich. Nachfolgend soll die Reichweite berechnet werden, wenn an Bord der Rakete ein Empfänger mit einer Empfindlichkeit von $4 \cdot 10^{-15}$ W und ein Sender mit 10 kW Impulsleistung eingebaut sind. Setzt man diese Werte in (9) ein, so ergibt sich, daß die Gleichung nicht erfüllt wird. Die maximal mögliche Reichweite wird in diesem Falle durch den Antwortkanal bestimmt, da er die ungünstigere Leistungsbilanz besitzt. Es ist dann

$$r_{max} = \sqrt{\frac{N_{s,b} \cdot G_s \cdot G_b \cdot \lambda^2}{16 \pi^2 N_{e,r,min}}} = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{N_{s,b} \cdot G_s \cdot G_b}{N_{e,r,min}}} = \frac{3}{4 \cdot \pi} \sqrt{\frac{10^4 \cdot 2880}{4 \cdot 10^{-16}}} \approx 6{,}3 \cdot 10^{10} \text{ m}$$

= 63 Millionen km!

Die gleiche Rechnung soll wieder mit den angenommenen Werten für die beiden anderen Wellenlängen wiederholt werden. Dabei ist stets angenommen worden, daß die Antenne des Antwortsenders und des an Bord der Rakete befindlichen Empfängers Rundstrahlcharakteristik hat (Gewinn = 1). Setzt man eine mit den heute bekannten Mitteln elektronisch nachgesteuerte Richtantenne mit dem Gewinn von 1000 voraus, dann erhöht sich die Reichweite im ersten Fall auf 2000 Millionen km(!) und genügt für eine Navigation oder Nachrichtenübermittlung im Bereich unseres Sonnensystems.

Für die Wellenlänge von 50 cm würde

r_{max} = 380 Millionen km

und für 10 cm

r_{max} = 1900 Millionen km.

Die hier errechneten Entfernungen stellen natürlich nur grobe Annäherungswerte dar und berücksichtigen nicht die vorhandene Dämpfung des Mediums im Übertragungsweg. Sie zeigen jedoch, daß mit den heutigen technischen Mitteln die Aufgabe einer Funkverbindung mit einer Weltraumrakete prinzipiell durchaus lösbar ist. Natürlich birgt die technische Realisierung dieses Vorhabens viele Schwierigkeiten. Einige sollen hier abschließend noch genannt werden. Die Erzeugung großer Impulsleistungen bei langen Impulsdauern stellt hohe Anforderungen an die Katoden der Senderöhren. Die Nachlaufsteuerung einer Radarantenne von 60 m Durchmesser ist ebenfalls ein heute noch ungelöstes Problem. Die Erreichung der Grenzempfindlichkeit des Empfängers erfordert hohen Aufwand. Hier ist in letzter Zeit im Molekularverstärker ein extrem rauscharmer Vorverstärker im Mikrowellengebiet entwickelt worden, der eine Empfindlichkeit von 1,1 kT besitzt und Eigenrauschtemperaturen von 20° K zu erreichen gestattet.

Die in letzter Zeit veröffentlichten Nachrichten über eine UKW-Funkverbindung via Mond und über ein Radarecho von der Venus lassen erkennen, daß auch die Nachrichtentechniker ihren Beitrag zur friedlichen Erschließung des Weltraumes leisten wollen. Die Möglichkeit der Schaffung einer sicheren Verbindung mit der Erde ist eine der Voraussetzungen dafür, daß der Mensch den Weltraum erobern kann. Mit dem vorliegenden Beitrag sollte in bewußter Vereinfachung ein Problem der modernen Funkortungstechnik behandelt werden. Wie aus der Literatur bekannt geworden ist, hat die Sowjetunion ihren „Sonnensputnik" bis zum Ausstoßen der Natriumwolke unter sicherer Radarkontrolle mit Geräten im Wellenbereich um 20 cm gehabt.

Literatur

H. J. Fischer: Radartechnik, Fachbuchverlag Leipzig, II. Auflage 1958

F. J. Kerr: On the Possibility of Obtaining Radar Echoes from the Sun and Planets Proc. IRE, Juni 1952 S. 660ff.

Z. Bay: Reflections of microwaves from the moon Hungarica Phys. Acta (1946) Vol. 1 S. 1···22

L. N. Ridenour: Radar System Engineering MIT Rad. Lab. Series Bd. 1 (1947)

HEINZ LANGE

Nachrichtenverbindungen zwischen Raumschiff und Erde

Durch die erfolgreichen Starts von Raketen aus dem Gravitationsbereich der Erde, rückte die Raumschiffahrt aus dem Bereich der Utopie in die Sphäre der wissenschaftlichen Möglichkeiten. Wenn auch bisher die Raketen unbemannt waren, so ist doch abzusehen, daß in nicht allzu ferner Zukunft bemannte Raumschiffe starten werden. Während bei den unbemannten Raumschiffen die Nachrichtenverbindung zur Übermittlung der Meßwerte diente, stellt sie bei den bemannten Raumschiffen die äußerst wichtige Verbindung mit der Heimat dar. Ganz abgesehen von der ohnehin selbstverständlichen Sicherung des Fluges und der navigatorischen Notwendigkeit wird eine gute Nachrichtenverbindung auch psychologisch für die Pioniere der Raumschiffahrt außerordentliche Bedeutung besitzen.

Zwar haben uns die Ergebnisse der Sputniks und Satelliten bereits wesentliche Erkenntnisse über physikalische Gegebenheiten in der Nähe unserer Erdkugel gebracht, doch gibt es noch erhebliche Lücken und viel unerforschtes Gebiet. Damit sind jedoch die Überlegungen, wie sie in diesem Beitrag angestellt werden, in mancher Beziehung recht spekulativ. Es ist immer schwierig, ein Thema zu behandeln, dessen Grundlagen noch nicht genau genug erforscht sind. Der Versuch soll trotzdem unternommen werden, da das Interesse an diesen Dingen zweifellos sehr groß ist.

Grundüberlegungen

Den meisten Menschen ist es geradezu unmöglich, sich ein Bild über die Maßstäbe zu machen, die bei der Raumschiffahrt anzuwenden sind. Für die Nachrichtenverbindung ist hier hauptsächlich die Dämpfung, hervorgerufen durch die riesigen Entfernungen, sehr bedeutungsvoll. Im Bild 1 ist die Dämpfung als Funktion der Entfernung für den freien Raum aufgetragen. Für die Entfernung wurde dabei ein logarithmischer Maßstab gewählt. Die Dämpfung wurde in Dezibel angegeben, da dies dem Funkpraktiker das geläufigste Maß für die Dämpfung ist. Die Berechnung des Diagramms ergab sich folgendermaßen:

$$E_x = E_0 \cdot e^{-D}, \qquad (1)$$

darin bedeuten:

E_x = Feldstärke, gedämpft,

E_0 = Ausgangsfeldstärke,

D = Dämpfung in Neper.

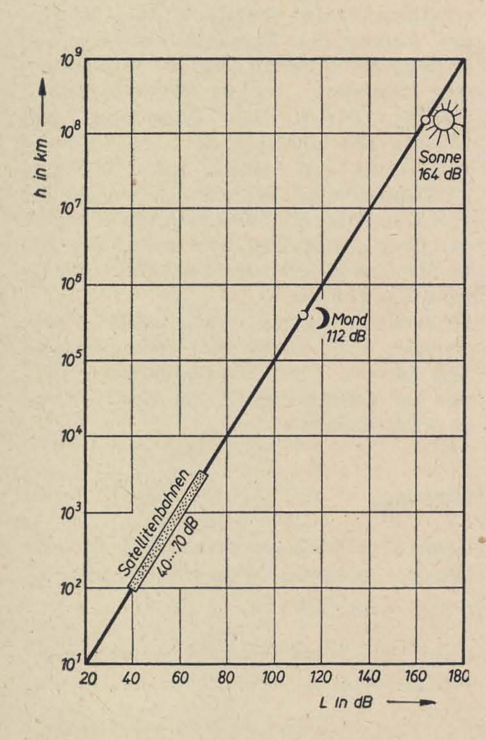


Bild 1: Die Dämpfung elektromagnetischer Wellen bei Frei-Raum-Ausbreitung. Reine Entfernungsdämpfung

Die Feldstärke nimmt im freien Raum ab nach der Beziehung

$$E_x = E_0 \cdot V; \qquad (2)$$

$$V = \frac{R_0}{R_x}, \quad R_0 = 1 \text{ km}.$$

Aus Gleichung (1) folgt

$$\ln \frac{E_x}{E_0} = (-D) \qquad (1a)$$

und aus Gleichung (2)

$$\ln \frac{E_x}{E_0} = + \ln V, \qquad (2a)$$

hieraus wiederum

$$(-D) = \ln V. \qquad (3)$$

Für die Umrechnung von Neper in Dezibel gilt weiter:

$$L_{/db} = 20 \cdot m \cdot D_{/N}, \qquad (4)$$

dabei ist m = lg e der Modul für die Umrechnung der natürlichen in die Briggschen Logarithmen. Damit wird

$$L_{/dB} = -20 \cdot m \cdot \ln V, \qquad (5)$$

$$L_{/dB} = -20 \lg V. \qquad (6)$$

Im Bild 1 sind die Entfernungen der bisherigen Satellitenbahnen, des Mondes und der Sonne mit den dazugehörigen Dämpfungen markiert. Zur Klärung der Verhältnisse sei als Beispiel angegeben, daß — ohne Antennengewinn und ohne Berücksichtigung der Dämpfung in der Ionosphäre — ein Sender von 5-kW-Leistung in Mondentfernung auf der Erde eine Feldstärke von etwa 1 μV/m erzeugen würde. Befindet sich der Sender soweit wie die Sonne von der Erde entfernt, so müßte er, um unter gleichen Voraussetzungen die gleiche Feldstärke zu erzeugen, 330 MW Leistung haben. Bedenkt man weiter, daß bei Raumschiffen äußerste Sparsamkeit an Raum und Gewicht notwendig ist, so erkennt man sofort die außerordentlich großen Schwierigkeiten, die durch diese, sich teilweise widersprechenden Forderungen entstehen. Der einzig gangbare Ausweg aus diesen Schwierigkeiten ist der Bau von Antennen mit großem Antennengewinn. Es ist nämlich möglich, mit sehr kurzen Wellen zu arbeiten, für die sich bekanntlich Antennengebilde mit hohem Gewinn relativ leicht herstellen lassen. Die gestellten Anforderungen sind dabei jedoch so hoch, daß große Anstrengungen auf diesem Gebiet gemacht werden müssen. Da wahrscheinlich der weitaus größte Teil des Fluges antriebs- und damit beschleunigungslos durchgeführt wird, erscheint es denkbar, daß man auch sehr große Antennengebilde während des Fluges im Raum aufbauen kann. Es muß sich hierbei allerdings um Gebilde handeln, die zusammengelegt wenig Raum und Gewicht besitzen, so daß das Startgewicht nicht zu stark erhöht wird.

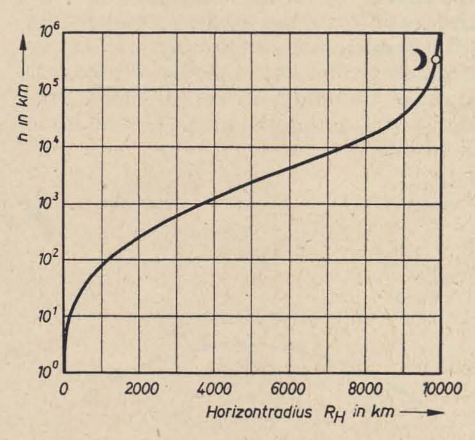


Bild 2: Optische Sicht aus einer Rakete, Radius des Horizontes auf der Erdoberfläche

Zur genaueren Behandlung des Problemes soll eine Entfernungseinteilung vorgenommen werden, da die Nachrichtenverbindung für verschiedene Entfernungen unter Umständen sehr unterschiedliche Ergebnisse mit sich bringt.

Nahbereich I

Hierunter soll ein Entfernungsbereich verstanden werden, der vom Startpunkt bis an die Ionosphäre reicht. Es herrschen hier für den Funkverkehr noch durchaus irdische Verhältnisse. Man kann also nach der „klassischen" Art [1, 2] Frequenzvorhersagen geben. Dazu kommt noch, daß man mit Frequenzen oberhalb der Grenzfrequenz der F-Schicht auch bereits sehr große Gebiete überstreichen kann. Bild 2 zeigt hierzu den Radius des Horizontes als Funktion der Raketenhöhe über der Erdoberfläche. Der Radius nähert sich für große Höhen asymptotisch dem Wert 10000 km, also einem Viertel des Erd-

umfanges. Dieser Horizontradius wird wie folgt berechnet:

$$\cos \varphi = \frac{R}{R + h} \quad (7)$$

Darin bedeuten:

φ = der Winkel zwischen Rakete und Peripherie des Horizontes,

R = der Erdradius = 6370 km, und

h = die Raketenhöhe über der Erde.

Der Horizontradius R_H ist dann

$$R_H = \frac{2 \cdot \pi \cdot R \cdot \varphi}{360} = 111 \cdot \text{arc} \cos \frac{R}{R + h} \cdot \quad (8)$$

Die Berechnung ergibt die optische Sichtweite. Die längeren Ultrakurzwellen reichen sogar über diese optische Sicht hinaus als Folge der troposphärischen Strahlenbrechung. Setzt man für die Höhe der F-Schicht 300 km an, so kann man von hier aus bereits 2000 km in optischer Sicht mit allen Frequenzen erreichen. Bleibt man mit der Frequenz unterhalb der Grenzfrequenz der F-Schicht, so kann man diese unter Umständen so geschickt wählen, daß alle Punkte der Erde zu erreichen sind.
Für diesen letzteren Fall dürfte die Verbindung bei geschickter Frequenzwahl kaum Schwierigkeiten bereiten, besonders dann, wenn die Rakete bereits eine Höhe erreicht hat, die über der Höhe der D-Schicht liegt. Dann muß die D-Schicht ja nur noch einmal durchstoßen werden, im Gegensatz zum Boden-Boden-Verkehr, so daß die Dämpfung in der D-Schicht entsprechend geringer wird. Erschwerend

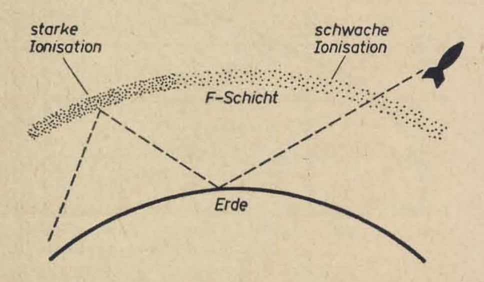


Bild 3: Reflexion des Funkstrahls

wird in diesem Bereich zu berücksichtigen sein, daß größtenteils mit Antrieb geflogen werden muß. Durch die damit zwangsläufig verbundene Beschleunigung wird es unmöglich, die oben erwähnten Raumantennen aufzubauen, was hier allerdings noch nicht von ausschlaggebender Bedeutung wegen der geringen Entfernung ist.

Nahbereich II

Als zweiter Nahbereich soll die Zone von der F-Schicht bis zur Mondbahn gelten, also von etwa 300 bis 400000 km über der Erdoberfläche.
Inwieweit hier noch mit angetriebenem oder bereits antriebslosem Flug gerechnet werden kann, läßt sich heute noch nicht entscheiden. Handelt es sich um einen Flug zum Mond — unter den heute gegebenen Voraussetzungen in Bezug auf den Treibstoff und die Technik der Raumschiffahrt — so kann man annehmen, daß in diesem Bereich kaum noch „angetrieben" werden wird. Handelt es sich dagegen um einen weiteren Flug, etwa in unser Planetensystem hinein, so ist es unter den heutigen Voraussetzungen durchaus möglich, daß auch oberhalb der F-Schicht, also im Nahbereich II, noch „angetrieben" wird [3]. Auch hier würde, wie im Nahbereich I, das Gewicht durch die Beschleunigung beim angetriebenen Flug ein Aufbauen umfangreicherer Antennen unmöglich machen. Jedoch ist mit wachsender Entfernung von der Erde die Wahrscheinlichkeit geringer, daß noch angetrieben werden muß und außerdem sind die nur im freien Flug aufzubauenden großen Antennen erst dann von großer Wichtigkeit, wenn die Rakete bereits ziemlich weit von der Erde entfernt ist. Im Nahbereich II kann zumeist darauf verzichtet werden. Das geht auch schon aus dem oben angeführten Beispiel einer Verbindung über die Mondentfernung hervor. Legt man Wert darauf, auch Punkte hinter dem Horizont auf der Erde zu erreichen, so ist dies bei geschickter Wahl der Frequenzen immer noch möglich, wenn auch bereits schwieriger als im Nahbereich I. Einige Erfahrungen mit den Sputniks haben hier schon wertvolle Hinweise gebracht. Die Sender in den Sputniks wurden unter besonderen Umständen auch dann gehört, wenn sie nicht mehr im optischen Sichtbereich des Empfängers lagen. Das ist so zu erklären, daß die Sendungen der Sputniks an einer Stelle innerhalb dessen optischen Horizontes unter die F-Schicht gestoßen sind (Bild 3), da hier die Ionosation der F-Schicht nicht ausreichte, um den Funkstrahl nach oben zu reflektieren. Nach dem Durchstoßen der Schicht wurde er dann vom Erdboden gespiegelt, und fand beim Wiedererreichen der F-Schicht eine höhere Ionisation vor, die eine Reflexion ermöglichte.
Da man hier mit Frequenzen arbeiten muß, die in der Größenordnung der Grenzfrequenz der F-Schicht liegen, kann man die ionosphärische Dämpfung nicht mehr ohne weiteres vernachlässigen. Schätzt man die höchstmögliche Dämpfung ab, die natürlich nur dann erreicht werden kann, wenn über der betreffenden Stelle die Sonne gerade senkrecht steht und dazu die D-Schicht sehr flach durchstoßen wird, so kommt es zu folgenden Werten:
Für 20 MHz kann die zusätzliche Dämpfung 5 bis 10 dB, für 10 MHz sogar 25 bis 50 dB betragen. Dies sind Maximalwerte, die nur in den seltensten Fällen erreicht werden. Im praktischen Fall wird die Dämpfung wesentlich geringer sein und kann dann gegenüber der reinen Entfernungsdämpfung vernachlässigt werden. Eine merkliche Dämpfungserhöhung tritt allerdings dann auf, wenn man nach dem ersten Durchgang durch die Ionosphäre noch mehrere „Sprünge" zwischen Erde und Ionosphäre braucht, um eventuell einen auf der abgewandten Seite liegenden Ort zu erreichen.
Bereits in diesem Bereich, den wir hier noch als Nahbereich bezeichnet haben, wird die Zweckmäßigkeit künstlicher Erdsatelliten als Relaisstationen für die Nachrichtenverbindung sehr augenscheinlich. Setzt man etwa drei künstliche Satelliten als Funkrelais ein, so ist zu erreichen, daß jeder gewünschte Ort in den bewohnten Gebieten der Erde, der in der optischen Sicht eines der drei Satelliten liegt, mit Dezimeterwellen erreichbar ist.

Fernbereich I

Als Fernbereich I wollen wir eine Kugelzone um die Erde mit dem Radius der Sonnenentfernung ansehen. Sie schließt sich an den Nahbereich II nach außenhin an und beginnt bei Entfernungen über 400000 km. Aus dem Bild 2 ist zu entnehmen, daß aus der Mondentfernung bereits praktisch eine Halbkugel der Erde in der optischen Sicht liegt und mit genügend hohen Frequenzen erreichbar ist. Über Satellitenrelaissender oder auch über Relaissender auf der Erde sind dann alle Teile der Erde erreichbar. Die Entfernungsdämpfung wächst sehr stark an und wird mit den bisher bekannten Mitteln schwierig überbrückbar sein. Eine weitere Schwierigkeit beginnt sich bereits jetzt bemerkbar zu machen, das ist die Zeit, die der Funkstrahl für seinen Flug vom Raumschiff zur Erde oder in entgegengesetzter Richtung benötigt. Diese Zeit beträgt zwar bei 400000 km Entfernung — dem Anfang des Fernbereichs I — nur 1,33 Sekunden, jedoch am Ende des Bereiches bei 150000000 km, bereits 8,33 Minuten.

Fernbereich II

Zu diesem Bereich sollen die Entfernungen über 150000000 km gerechnet werden. Es ergeben sich gegenüber dem Fernbereich I nicht mehr viel wesentlich neue Gesichtspunkte. Es wird immer schwieriger, die notwendige Leistung zu erzeugen. Die Schwierigkeiten scheinen mit den heutigen Mitteln bereits am Anfang des Fernbereiches II kaum noch überwindbar zu sein. Bei dem äußersten Planeten unseres Sonnensystems (Pluto) beträgt die Dämpfung fast 200 dB. Die Lichtflugzeit vom Pluto bis zur Sonne ist bereits auf 5 Stunden 33 Minuten und 20 Sekunden angewachsen. Man kann also, wenn man so weit von der Erde entfernt ist, erst nach reichlich 11 Stunden eine Antwort auf einen Funkspruch erwarten.
Diese Entfernungen werden wohl einmal erreicht, doch dürfte dies noch geraume Zeit dauern. Diese Überlegungen sollten nur der Vollständigkeit halber nicht unerwähnt bleiben.

Literatur

Heinz Lange: Die Kurzwellenausbreitung durch Reflexion an der Ionosphäre, radio und fernsehen 17 (1956) S. 510

Heinz Lange: Die Prognose brauchbarer Kurzwellenbereiche, radio und fernsehen 2 (1957) S. 45

Wernher von Braun: Start in den Weltraum. S. Fischer Verlag 1958

Künstliche Marstrabanten?

Im nachfolgenden Beitrag vertritt der bekannte sowjetische Wissenschaftler, I. S. Schklowski, eine sehr interessante Hypothese über die Natur der Marsmonde. Der Korrespondent der „Komsomolskaja Prawda" bat den Wissenschaftler um die Beantwortung einiger Fragen, die wir in gekürzter Form wiedergeben.

Frage: Was ist der Wissenschaft heute über die Marsmonde bekannt?

Antwort: Der Mars besitzt zwei kleine Trabanten, den Phobos und Deimos. Entdeckt wurden beide Trabanten im Jahre 1877 von dem amerikanischen Astronomen Hall. Der dem Mars nähere Phobos bewegt sich auf einer fast kreisförmigen Bahn mit einem Radius von 9476 km, also in rund 6000 km Entfernung von der Oberfläche seines Planeten. Er braucht für eine Umdrehung um den Mars 7 Stunden 39 Minuten (ein Marstag hat 24 Stunden 37 Minuten).
Deimos bewegt sich ebenfalls auf einer kreisförmigen Bahn, deren Radius 23500 km beträgt. In 30 Stunden 18 Minuten läuft er einmal um den Mars. Die winzigen Monde bewegen sich beide in der Ebene des Marsäquators.
Leider ist es bei dem gegenwärtigen Stand der optischen Beobachtungstechnik nicht möglich, die Durchmesser der Marsmonde von der Erde aus zu messen. Nur dadurch, daß man ihre Helligkeit kennt und annimmt, daß ihr Rückstrahlungsvermögen ebenso groß ist wie das Rückstrahlungsvermögen des Mars (nämlich 15 Prozent), kann man die Größe der Marsmonde berechnen. Auf Grund dieser Berechnung ergibt sich für Phobos ein Durchmesser von annähernd 16 km, für Deimos ein Durchmesser von 8 km. Direkte Messungen von der Masse der Marsmonde gibt es nicht.

Frage: Wodurch unterscheiden sich die Marsmonde von den Trabanten anderer Planeten des Sonnensystems?

Antwort: In erster Linie durch ihre sehr geringe Größe. So kleine Monde besitzt, abgesehen von den künstlichen Erdsatelliten, kein anderer Planet. Außerdem unterscheiden sie sich durch ihren sehr geringen Abstand von ihrem Planeten. Und eine ganz einmalige Erscheinung in unserem Sonnensystem ist es, daß die Umlaufzeit des Phobos kleiner ist als die Rotation des Mars.
Keine der kosmogonischen Hypothesen, von denen eine die andere ablöste, hat den Ursprung so eigenartiger Trabanten erklären können. Glaubte man z. B., es handle sich um Asteroide, die der Mars einmal zufällig an sich gerissen hat, dann wäre es unbegreiflich, weshalb sie sich auf fast kreisförmigen Bahnen bewegen, die genau in der Äquatorebene liegen.
Einer der Marsmonde weist noch einen weiteren erstaunlichen Unterschied zu allen anderen Satelliten im Sonnensystem auf.
Im Jahre 1945 stellte der amerikanische Wissenschaftler Sharpless eine Reihe von Beobachtungen der Marssatelliten an und verglich die erzielten Ergebnisse mit denen von Beobachtungen, die andere vor ihm, insbesondere am Anfang des Jahrhunderts der russische Astronom Hermann von Struve, gemacht hatten. Dieser Wissenschaftler hatte die Position der Monde auf ihren Bahnen für jeden beliebigen Zeitpunkt errechnet. Wie sich herausstellte, stimmte die theoretisch zu erwartende Position des Phobos mit der tatsächlichen nicht überein. Die Differenz war sehr groß: In nur wenigen Jahrzehnten war Phobos auf seiner Bahn dem berechneten Punkt um ganze 2,5 Grad vorausgeeilt! Das ist ein unerklärliches Faktum in der Himmelsmechanik!
Wenn Phobos nun in dieser Zeit seine Bewegung beschleunigt hat, so bedeutet das, daß er sich der Oberfläche des Mars genähert hat.
Genau das gleiche ereignet sich mit den künstlichen Erdsatelliten: Sie werden vom Widerstand der Atmosphäre gebremst, sinken ab, beschleunigen aber dabei ihre Bewegung.
Die Veränderungen im Charakter der Bewegung des Phobos sind so groß, daß wir mit Überzeugung sagen dürfen: Wir sind Zeugen eines langsamen Todeskampfes des Himmelskörpers. Denn in nur rund 15 Millionen Jahren muß Phobos auf den Mars niederstürzen. Im astronomischen Maßstab gesehen ist das eine ganz außerordentlich kurze Zeit.

Frage: Womit erklären es die Astronomen, daß Phobos gebremst wird?

Antwort: Mit dieser Frage befassen sich mehrere Untersuchungen in der ausländischen wissenschaftlichen Literatur. Es wurden zwei mögliche Ursachen herausgestellt. Erstens der Widerstand des den Satelliten umgebenden Mediums — die gleiche Ursache, auf die die Bremsung der künstlichen Erdsatelliten zurückzuführen ist. Wäre dieses Medium interplanetare Materie (die in der Umgebung des Mars eine größere Dichte haben könnte als in der Nähe der Erde), dann bleibt es unbegreiflich, warum sie nicht auch den weiter entfernten Deimos bremst. Aber vielleicht ist es auch die Marsatmosphäre? Doch die Berechnungen, die der namhafte amerikanische Astronom Wheaple zusammen mit Kell angestellt hat, bestätigen diese Vermutung nicht.
Zweitens kämen als Ursache der beschleunigten Bewegung des Phobos Gezeiten in Frage. Da es auf dem Mars größere Wassermengen, d. h. Meere, nicht gibt, könnte man nur Gezeiten in der festen Hülle dieses Planeten in Betracht ziehen. Der bekannte englische Astronom Jeffreys, ein bedeutender Gezeitenspezialist, hat vor kurzem auch diese Hypothese mit den exakten Methoden der Mathematik geprüft. Nach seinen Berechnungen wäre mit Gezeiten in der festen Hülle des Mars nur ein Zehntausendstel der beobachteten Beschleunigung des Phobos zu erklären.
Das sind die Ursachen der Anomalien in der Bewegung des Phobos, die in der wissenschaftlichen Presse dargelegt wurden. Jedoch sind noch andere Ursachen möglich.
Man könnte annehmen, daß um den Mars herum ein starkes Magnetfeld existiert, das die Bewegung des Phobos bremst. Aber die von mir angestellten mathematischen Berechnungen schließen auch diese Möglichkeit aus.
Endlich bliebe noch zu vermuten, daß die Beschleunigung der Bewegung des Phobos nach den Gesetzen der Himmelsmechanik erfolgt — auf Grund der Anziehung des Deimos, der Sonne und der anderen Planeten. Doch müßten alle diese Ursachen, wie es wiederum Berechnungen gezeigt haben, die Bewegung des Deimos stärker beeinflussen als die des Phobos. Es ist aber gerade umgekehrt.
So gelangte ich zu dem Schluß, daß man weder den Ursprung der Marsmonde noch die Eigentümlichkeiten in der Bewegung des Phobos auf „natürliche" Weise erklären kann.

Frage: Und wie erklären Sie diese Eigentümlichkeiten?

Antwort: Nachdem ich alle denkbaren Ursachen für die Bremsung des Phobos analysiert und verworfen hatte, kam ich zu folgender Schlußfolgerung: Wahrscheinlich spielt gerade die Bremsung durch die hohen, sehr dünnen Schichten der Atmosphäre hier eine entscheidende Rolle. Wenn sich die Bremskraft der Marsatmosphäre, obwohl diese in einer solchen Höhe außerordentlich dünn ist, so stark auswirken konnte, so müßte Phobos eine sehr geringe Masse haben und folglich eine mittlere Dichte, die etwa einem Tausendstel der Dichte des Wassers entspricht.
Kann jedoch ein kompakter, fester Körper eine so geringe Dichte haben, eine geringere wahrscheinlich als die Dichte der Luft in der Nähe der Meereshöhe? Selbstverständlich nicht! Man könnte sich aber Phobos nicht als kompakten Körper, sondern als eine Wolke kleinster Stäubchen vorstellen, zwischen denen große Abstände bestehen. Doch würde sich eine solche Wolke, wie Berechnungen zeigen, zwangsläufig über die gesamte Flugbahn zerstreuen und sich in ein Gebilde verwandeln, das dem berühmtem Ring des

Saturn ähnelt. Es gibt nur einen einzigen Weg, die Forderungen nach Festigkeit, Unveränderlichkeit der Form und äußerst geringer mittlerer Dichte zu verbinden: Man muß voraussetzen, daß Phobos hohl, innen leer ist wie eine Konservendose, aus der man den Inhalt entfernt hat.
Kann nun ein natürlicher kosmischer Körper hohl sein? Auf keinen Fall! Folglich müßte Phobos künstlich entstanden und ein künstlicher Satellit des Mars sein. Die Eigentümlichkeiten in den Eigenschaften des Deimos geben, wenn sie auch weniger auffallend sind als bei Phobos, Anlaß zu der Vermutung, daß auch er künstlich entstanden ist.

Frage: Sind die Marsmonde nicht zu groß, um einen künstlichen Ursprung zu haben?

Antwort: Selbstverständlich haben die künstlichen Marssatelliten eine ganz beträchtliche Größe. Ihre Massen können Hunderte von Millionen Tonnen betragen und sogar noch mehr. Aber die Konstruktion solcher Satelliten ist für denkende Wesen keine unlösbare technische Aufgabe. Es ist kaum zu bezweifeln, daß in den kommenden Jahrhunderten solche gigantischen Satelliten auch um die Erde kreisen werden.
Natürlich werden die Bahnen solcher Satelliten weit genug — einige Erdradien weit — entfernt liegen. Dann wird ihre Bremsung durch die äußerst verdünnten Reste der Atmosphäre und durch die Gezeiten so unwesentlich sein, daß sie ein paar Hundert Millionen Jahre existieren können.
Die heutige Natur des Mars ist die Natur einer kalten Hochebene in etwa 18 km Höhe über der Erdoberfläche. In seiner Atmosphäre ist fast überhaupt kein Sauerstoff vorhanden. Ich bin davon überzeugt, daß ein hochentwickeltes Leben dort nicht mehr existiert. Vielleicht gibt es dort nur einfachste Gewächse in der Art von Flechten und Moosen. Aber vor zwei oder drei Milliarden Jahren hat es offenbar anders ausgesehen. Viele Astronomen sind der Ansicht, daß in der Atmosphäre des Mars damals Sauerstoff vorhanden war und daß es auf seiner Oberfläche riesige Gewässer — Meere und Ozeane — gab. Wahrscheinlich erschienen damals auf dem Mars auch vernunftbegabte Wesen, die ein hohes Kulturniveau erreichten. Ich versuche mir weder vorzustellen, wie sie ausgesehen haben, noch was aus ihnen geworden ist, aber in einer bestimmten Etappe ihrer Entwicklung müssen sie über die Grenzen ihres Planeten hinausgelangt sein. Vom Mars aus, der eine wesentlich geringere Anziehungskraft hat als die Erde, mußte übrigens ein Start in den Weltraum auch viel leichter gewesen sein als von der Erde aus.

Frage: Kann man experimentell nachweisen, daß die Marsmonde künstlichen Ursprungs sind?

Antwort: Ja, das ist selbstverständlich möglich. Am besten ließe sich dies prüfen, wenn Weltraumfahrer auf ihnen landen würden. Aber darauf muß man, auch nach den kühnsten Prognosen, noch mehr als ein Jahrzehnt warten. Ein wesentlich realerer Weg ist es, eine mit wissenschaftlichen Apparaturen ausgerüstete Raketensonde zum Mars zu schicken. Auf diese Weise könnten wichtige Informationen über die Natur der Marsmonde zur Erde gefunkt werden.

Zur Klärung ihrer Natur können auch Beobachtungen von der Erde aus beitragen. So wäre es z. B. überaus wichtig, die Veränderungen ihrer Helligkeit sorgfältig zu untersuchen. Bekanntlich haben Asteroide, die zuweilen einige Dutzend Male größer sind als die Marsmonde, in der Regel keine runde Form, sie sind nur bizarre Felsbrocken. Ihr Kreisen im Raum um einen Schwerpunkt erzeugt eine deutliche periodische Veränderung der Helligkeit. Wenn z. B. die Helligkeit der Marsmonde sich als konstant erweisen würde — ein Beweis für ihre kugelförmige Gestalt — dann wäre dies auch eine Bestätigung unserer Hypothese.

So oder so wird die Hypothese vom künstlichen Ursprung der Marsmonde nicht lange eine Hypothese bleiben. In den nächsten Jahren, höchstens Jahrzehnten, wird sie durch neue, absolut überzeugende Fakten bestätigt werden, oder man wird andere Erklärungen für die rätselhaften „Eigentümlichkeiten" im Charakter der Marssatelliten finden.

STATT EINES VORWORTES . . .

Viele unserer Leser werden beim Aufschlagen dieses Heftes etwas erstaunt gewesen sein über seinen Inhalt, der von dem Rahmen der sonst in unserer Zeitschrift üblichen Thematik abweicht. Das Titelbild mag für diesen oder jenen allzusehr an Jules Verne oder Hans Dominik erinnern, als es mit dem „seriösen" Charakter einer ernst zu nehmenden Fachzeitschrift in Einklang zu bringen wäre . . . Deswegen mag eine Erklärung notwendig sein über die Gründe, die uns zur Herausgabe dieses Heftes bewogen.
Die Weltraumschiffahrt ist heute noch Utopie. Utopie ist jedoch nichts a priori Schlechtes oder Verurteilenswertes. Utopie kann nützlich sein, wenn sie auf den bisher bekannten wissenschaftlichen Tatsachen fußt, wenn sie die Menschen für die großen Perspektiven der Zukunft begeistert, sie in ihrer Kraft und in ihrem Glauben an die Unbesiegbarkeit des menschlichen Willens bestärkt. Auf dieser Utopie — oder zumindest auf einem Teil von ihr — beruht die Wissenschaft von morgen. Und das vorliegende Heft enthält keinesfalls utopische Beiträge, sondern Artikel international anerkannter Spezialisten und ernstzunehmender Ingenieure und Wissenschaftler!
Warum halten wir die Problematik der heutigen Versuche und der morgigen Realisierung der Astronautik für so bedeutungsvoll für den HF-Ingenieur und für den interessierten Laien, daß wir ihr ein ganzes Heft widmen? Die Frage beantwortet sich durch das vorliegende Heft von selbst. Nachrichtentechnik und Elektronik spielen eine führende Rolle bei der Eroberung des Weltraumes! Diese Erkenntnis ist den führenden Wissenschaftlern seit langem bekannt und es ist kein Zufall, daß die internationale Fachpresse der Nachrichtentechnik diese Probleme in immer stärkerem Maße behandelt. Natürlich tut sie dies nicht — wie sollte es auch anders sein! — ohne Berücksichtigung der Gesellschaftsordnung des Landes, in dem das betreffende Publikationsorgan erscheint. Dort, wo die Wissenschaft dem Streben nach militärischer Vorherrschaft und Anexion unterworfen ist, diskutiert man die Möglichkeit, den Mond als Stützpunkt für interplanetare „Superwaffen" zu verwenden . . . Man übersieht dabei, daß die Eroberung des Weltraumes ein wissenschaftlich-technisches Problem von gigantischem Ausmaße darstellt, das nur von einer einigen menschlichen Gesellschaft verwirklicht werden kann. Diese Aufgabe ist kein „Geschäft", an dem einige Aktionäre gut verdienen können. Sie bedarf der planvollen systematischen Zusammenarbeit ganzer Industrien und wissenschaftlichen Disziplinen, einer Zusammenarbeit, die zentral gelenkt und geplant werden muß.
Die historische Aufgabe der Menschheit liegt im Bezwingen und Ausnutzen der Naturkräfte für friedliche Zwecke und nicht in der gegenseitigen Massenvernichtung. Diese Erkenntnis setzt sich auch in Kreisen bürgerlicher Wissenschaftler immer mehr durch, und die Beispiele häufen sich, wo führende wissenschaftliche Gremien und Einzelpersönlichkeiten zur Besinnung an die große humanitäre Aufgabe der Wissenschaft mahnen.
Es ist besser, zielstrebig für die Zukunft der menschlichen Gesellschaft, als unbewußt für ihre Vernichtung zu arbeiten. Zur zielstrebigen Arbeit an unserem Alltag von Heute und Morgen gehört aber auch untrennbar der Traum von Übermorgen! Und solche Träume bleiben keine leeren Hirngespinste, sondern sind reale Perspektiven, wenn sie auf dem Boden der Wissenschaft beruhen. Der Sinn dieses Heftes war es also, unseren Lesern einen kleinen Einblick in diese Perspektive zu geben.

DIE REDAKTION

Bücher über Raketen, Satelliten, Weltraumschiffahrt

Künstliche Erdsatelliten
Übersetzung aus dem Russischen
354 Seiten, 148 Bilder, 31 Tabellen,
38,— DM
Akademie-Verlag, Berlin

Picht
Straßen der Zukunft
428 Seiten, 10,80 DM
Verlag Neues Leben, Berlin

Böhm und Dörge
Auf dem Weg zu fernen Welten
258 Seiten, 10,50 DM
Verlag Neues Leben, Berlin

Autorenkollektiv
Raketen und Strahltriebwerke
Übersetzung aus dem Russischen
81 Seiten, 9,80 DM
VEB Verlag Technik, Berlin

G. Eichler und H. Körner
Satelliten
165 Seiten, 2,— DM
Urania-Verlag, Jena

R. Rothmayer
Rakete — Sputnik — Weltraumschiff
100 Fragen
206 Seiten, 2,— DM
Urania-Verlag, Jena

IN VORBEREITUNG

Mielke

Raketentechnik — eine Einführung

etwa 320 Seiten, etwa 240 Bilder und 40 Tafeln, Kunstleder etwa 18,— DM
VEB Verlag Technik, Berlin

Sputnik contra Bombe

124 Seiten, 8 Bilder, 1,70 DM
Verlag des Ministeriums für Nationale Verteidigung

Wir suchen dringend:

Mehrere Rundfunkmechaniker,
evtl. auch Meister

für unseren Reparaturdienst für Rundfunk- und Tonbandgeräte; Ela-Anlagen

Mehrere Rundfunkmechaniker,
möglichst Meister

m. Fernsehzusatzprüfung f. unseren Fernsehreparaturdienst

Schriftliche Bewerbungen mit den üblichen Unterlagen sind zu richten an:

Produktionsgenossenschaft des Handwerks „elektronik“
Fürstenwalde (Spree) -Süd, August-Bebel-Straße 116–117

1 qualifizierten Rundfunkmechaniker
für Entwicklungslabor und Prüffeld, möglichst mit Fernsehzusatzprüfung, gesucht.

Schriftliche Bewerbungen sind zu richten an die
Kaderabteilung
des Betriebslaboratoriums für Rundfunk und Fernsehen
Berlin-Adlershof, Agastraße

Gesucht wird ab sofort

1 Rundfunkmechaniker
möglichst mit Zusatzprüfung für Fernsehen

W. Stratonowitsch,
Neustrelitz/Meckl., Bernhard-Göring-Straße 3

Unser Fabrikationsprogramm:

Kondensator-Mikrofon-Verstärker Typ CMV 563
Kondensator-Mikrofon-Kapseln
Nieren-Achter-Kugel-Charakteristik
Typ M55K, M7, M8, M9, M18 u. 026/2
Tischständer, Mikrofon-Zubehör
Steckverbindungen 5- und 6polig

NEUMANN

GEORG NEUMANN & CO.
GEFELL/VOGTLAND · RUF 185
Bitte fordern Sie unsere Prospekte an!



Gesichtsschutzhaube
Ka-Me II

gegen Splitter und Späne aller Art, gegen Implosion sowie bei allen Arbeiten in der Nähe Hochspannung führender Anlagen. Unbegrenztes Gesichtsfeld, aufklappbar, glasklar, unbrennbar, splittersicher, säure- und laugenbeständig. Gewicht nur 135 Gramm, niedrigster Preis.



KURT METIUS · LEIPZIG C1





POLNISCHE AUSSENHANDELSGESELLSCHAFT FUR ELEKTROTECHNIK G. M. B. H.

ELEKTRIM

Warszawa, Czackiego 15/17, Telegramm-Adresse: ELEKTRIM WARSZAWA

empfiehlt:

Batterie-Reisesuper mit Netzanschluß, unentbehrlich zu Hause und auf der Reise

Typ *Szarotka* **E 2**

Sämtliche Auskünfte erteilt:

POLNISCHE BOTSCHAFT
HANDELSRAT
Berlin NW 7, Karlplatz 7